

# *Nordlys*

## TEMAHEFTE 3

Alv Egeland  
Ellen K. Henriksen  
Thormod Henriksen

Fysisk institutt  
Universitetet i Oslo





## TEMAHEFTE OM NORDLYS

laget til utstillingen

*"Vår strålende verden"*

på Norsk Teknisk Museum



Et stort nordlysutbrudd setter fantasien i sving. Dette himmellyset har inspirert kunstnere gjennom generasjoner og vil sikkert fortsette å inspirere mennesker. På den måten har det også blitt et bindeledd mellom naturvitenskap og humaniora.

Nordlyset røper naturkrefter og prosesser som vi bare delvis aner og som mennesker gjennom tusener av år har beundret og fryktet. Det ligger fortsatt et mystikkens slør over nordlyset, men for oss i Norge er det en viktig del av vår kulturarv.

Det er ikke nødvendig å lese bøker om nordlys for å bli betatt av denne "himmelske danserinnen" i sin mangfoldige fargeprakt. Vi føler oss likevel sikre på at de som har noen bakgrunnskunnskaper om dette storslagne naturfenomenet, vil ha større utbytte av å observere det. Jo mer du vet om nordlys, desto større glede vil du ha av å se det ute i naturen.

I forbindelse med OL på Lillehammer i 1994 ble det laget en utstilling om nordlyset. Denne inngår nå som en del av utstillingen "Vår strålende verden" på Norsk Teknisk Museum i Oslo. Dette heftet er det siste av tre temahefter knyttet til "Vår strålende verden". Det første heftet dreier seg om ozon, UV-stråling og drivhuseffekt, mens hefte 2 handler om radioaktivitet, røntgenstråling og helse. Alle heftene kan bestilles fra Fysisk institutt; se bakre omslag.

Heftene kan leses uavhengig av utstillingen. De er skrevet i en populær form med et stort antall illustrasjoner, og alle som har interesse for natur og miljø kan lese dem. De kan brukes på flere trinn i skolen, av politikere og miljøorganisasjoner.

Vi vil takke alle som har hjulpet oss med dette temaheftet. En spesiell takk til Ingrid Sandal (Kiruna), Steinar Berger (Tromsø), Jan Olav Andersen (Andenes), T. Oguti (Japan), Shiokawa (Japan) og NASA for bruk av noen vakre nordlysbilder. Til slutt en takk til A/S Norske Shell for støtte til trykking av heftet.

Så håper vi at nordlyset vil lyse opp *din* livsvei!

Blindern, mai 1997

Alv Egeland

Ellen K. Henriksen

Thormod Henriksen

**ISBN 82-91853-00-2**

Forside: Kometen Hale-Bopp midt i nordlyset over Kiruna i mars 1997. Foto av Ingrid Sandal.





## Innhold

Nordlyset - den himmelske danserinnen.....	2
Hvor og når kan vi se nordlys?.....	2
Aurora australis - nordlysets speilbilde.....	3
Hvordan får vi kunnskap om nordlys?.....	4
Sola - kilden til nordlyset.....	5
Solas størrelse og struktur.....	5
Slik lages energi i sola.....	6
Solas overflate.....	7
Solaktivitet.....	7
Solflekker.....	8
Magnetfeltene på sola.....	9
Solvind.....	10
Hvordan styres solvinden?.....	11
Jordas magnetfelt - nordlysets veiviser.....	13
Nordlyset tennes .....	14

<b>Hvordan kan atomer og molekyler i atmosfæren lyse?</b>	<b>15</b>
<b>Nordlysets farger .....</b>	<b>16</b>
<b>Høyden av nordlyset.....</b>	<b>17</b>
<b>Nordlysfotografier i farger.....</b>	<b>19</b>
<b>Romforskning.....</b>	<b>21</b>
<b>Nordlysets intensitet og form.....</b>	<b>23</b>
<b>Nordlys - et skuespill i 4 akter.....</b>	<b>24</b>
<b>Variasjoner i nordlysforekomst.....</b>	<b>25</b>
<b>Hvor ser vi nordlys?.....</b>	<b>26</b>
Nordlyssonene.....	26
Hvordan dannes ovalen?.....	27
Polarnordlys.....	27
Dagnordlys.....	28
<b>Nordlysforskningen - en norsk paradegren.....</b>	<b>29</b>
<b>Birkelands Terrella-eksperiment.....</b>	<b>30</b>
<b>Dagens og morgendagens nordlysforskning.....</b>	<b>31</b>
Andøya rakettskytefelt.....	31
Cluster - en flåte av satellitter.....	32
EISCAT «lytter» til ekko fra nordlyset.....	33
<b>Nordlyset i historien.....</b>	<b>34</b>
<b>Inspirasjonskilde for kunstnere.....</b>	<b>35</b>
<b>Nordlys i mytologi og folketro.....</b>	<b>37</b>
<b>Nordlyslyd - et mysterium.....</b>	<b>38</b>
<b>Nordlys og været.....</b>	<b>38</b>
<b>Hva nordlysforskning kan fortelle oss.....</b>	<b>39</b>
<b>Prøv deg som nordlysobservatør.....</b>	<b>40</b>
Tips om fotografering.....	40



*Et av Fridtjof Nansens stemningsfulle nordlysbilder*



# Nordlyset - den himmelske danserinnen

Gjennom hele historien har menneskene vært fascinert av lyset. Sola har spilt en sentral rolle i mange kulturer, men også månen, stjerner og planeter er blitt tilbedt og dyrket. Stjerneskudd, meteorer og kometer er blitt tolket som gode eller onde varsler. Nordlyset, som er kalt *Den himmelske danserinnen*, er det mest gåtefulle og mystiske av himmellysene.

Det vitenskapelige navnet på nordlyset er *aurora borealis* (Aurora var morgenrødens gudinne i det gamle Hellas, og boreal betyr nordlig). Nordlyset er et imponerende himmellys, forskjellig fra andre lysfenomener. En rekke bilder i dette heftet viser noen av de mange ulike former og farger nordlyset kan ha.

På den sydlige halvkule har vi «motstykket» til nordlyset. Det kalles *aurora australis* (austral betyr sydlig).

Nordlys og sydlys opptrer i de tynne luftlagene 90 - 700 km over bakken nær nord- og sydpolen. Når nordlyset folder seg ut på himmelen en stjerneklar vinternatt, vil mange si at dette er *naturens vakreste skuespill*. Hør bare hva den østerrikske polarforskeren Carl Weyprecht (1815 - 1881) sa da han så nordlys over Frans Josefs land i 1874:

*"Nordlyset er et festfyrverkeri - ufattelig for den dristigste fantasi. Ingen farve og ingen pensel klarer å male dette, og intet ord makter å skildre det i sin storhet".*

Nordlyset er også kalt *Nordens vakreste reklamelys*, og ble brukt som logo for de olympiske vinterleker på Lillehammer i 1994.

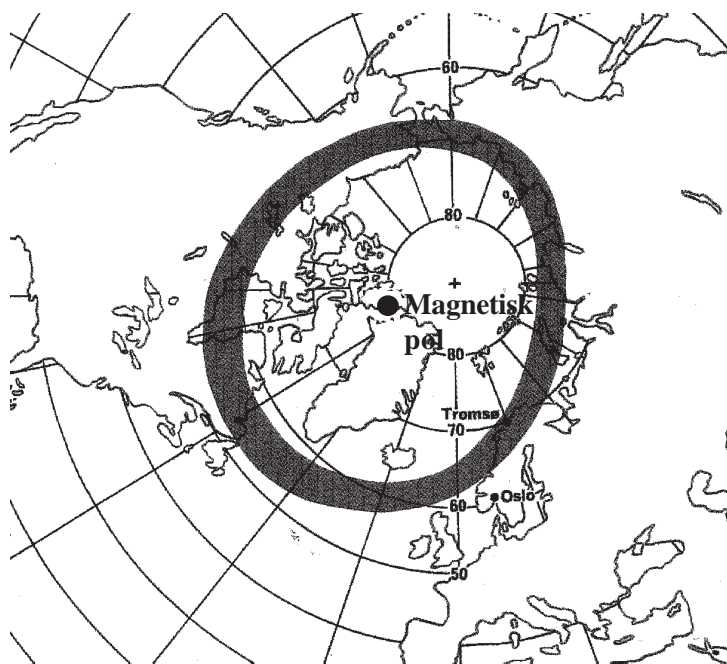
Nordlyset kan opptre i en rekke farger og former. Fargesammensetningen varierer fra gulgrønt til blodrødt og over i skarlagan, og formen veksler stadig.

Flere nordlysformasjoner kan smelte sammen og deretter splittes opp i nye strukturer. Strålene kan minne om et stort kirkeorgel som strekker seg nesten loddrett mellom himmel og jord. Strålene kan også slå bukker på seg som i en gardin. Det er denne formen som var bakgrunnen for OL-logoen.



Logoen til OL på Lillehammer illustrerer et nordlysdrapeeri.

## Hvor og når kan vi se nordlys?



Figur 1. Det mørke beltet viser områdene på den nordlige halvkule der en ser mest nordlys. Jordas magnetiske nordpolen ligger sentralt i dette beltet, mens den geografiske nordpolen (merket med +) ligger litt på siden.

Nordlyset opptrer hyppigst og med størst intensitet langs et ovalformet belte, *nordlysovalen*. Figur 1 viser sonen på den nordlige halvkule der en oftest ser nordlys om natten. Det er en tilsvarende oval på den sydlige halvkule.

Når det er natt i Norge, følger nordlysovalen kysten av Troms og Finnmark. De som bor i Nord-Norge har derfor «orkesterplass» med hensyn til å oppleve nordlyset i all sin prakt. Himmelen innenfor nordlysbeltet er lysere enn ellers på jorda. Nattnordlyssonen går også gjennom Nord-Russland (Sibir), Alaska og Nord-Canada. Her er forekomsten av nordlys like stor som i Nord-Norge.

På grunn av Golfstrømmen er temperaturen i Nord-Skandinavia i vinter-



halvåret nesten 10 grader høyere enn i Sibir og Alaska. Norge kalles derfor med god grunn *Det milde nordlyslandet*. Klimaet gjør det lettere å studere nordlys her enn i nesten alle andre land i nordlyssonen.

Mens en i Nord-Norge kan se nordlys praktisk talt hver eneste stjerneklar natt, kan man fra Oslo-området bare observere nordlys noen få netter pr. måned i vinterhalvåret. Ti grader sør for Oslo - i Nord-Tyskland - kan

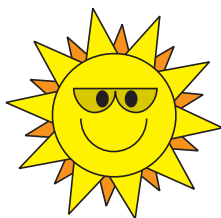
en se gjennomsnittlig ett nordlys pr. år. I Middelhavslandene er nordlys synlig én eller et par ganger pr. hundre år, og da er det gjenstand for stor oppmerksomhet.

## Aurora australis - nordlysets speilbilde

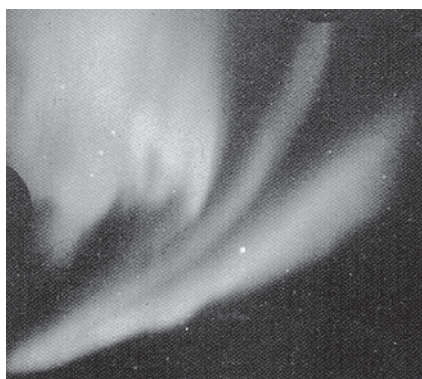
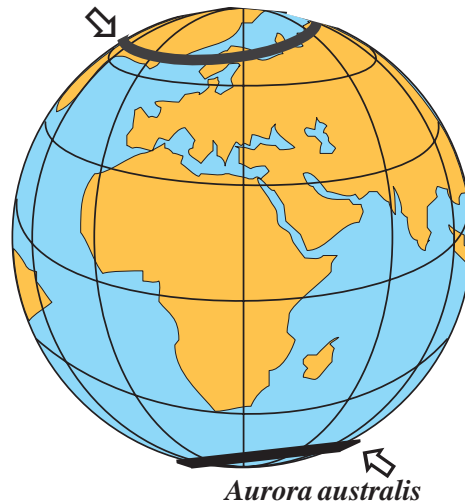
Nordlys skyldes ladde partikler fra sola som kommer inn i jordas magnetfelt. Når sola har et såkalt «utbrudd», opptrer sterke nordlys og sydlis på hver sin halvkule. Disse nord- og sydlisene kan forekomme samtidig, og ha samme form. Den 26. mars 1968 klarte en, ved hjelp av to fly, å obser-

vere nesten identisk nordlys og sydlis. Ett av flyene var over Alaska, og det andre sør for New Zealand. Flyene var samtidig på tilnærmet samme feltlinje i jordas magnetfelt. Bildene i figur 2 viser nordlys og sydlis som er «speilbilder» av hverandre.

Forekomsten og intensiteten av nordlys er styrt av aktiviteten på sola. Hvor på jorda vi kan observere nordlys er bestemt av jordas magnetfelt og atmosfære.



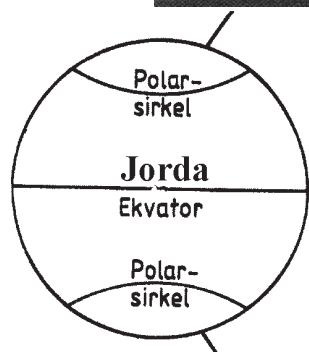
*Aurora borealis*



*Aurora borealis*



Magnetfeltlinje



6 - 7 jordradier

*Aurora australis*



Figur 2. Nordlys og sydlis observert **samtidig** på den nordlige og sydlige halvkule. Flyene som ble brukt for å ta bildene var dirigert slik at de befant seg på samme jordmagnetfeltlinje. Vi ser at disse himmelysene nesten ser ut som speilbilder av hverandre. Begge produseres av partikler fra sola og er knyttet til de samme magnetfeltlinjene i jordas magnetfelt.





Nordlys dannes ved at elektrisk ladde partikler fra sola (solvinden) kommer inn i jordas magnetfelt. Feltet styrer partiklene inn i områdene rundt jordas magnetiske poler. Mer enn 90 km over bakken stoppes partiklene av atmosfærens gasser, og «nordlyset tennes».

Nordlysets form og bevegelser er bestemt av variasjoner i solvinden. Fargene er bestemt av de gassene som lyser opp.

Hvis du vil forstå nordlyset, må du lese litt om disse emnene, som vi tar opp utover i heftet.

### Sola

Sola er en glødende gasskule. Her brenner «solovnen», her oppstår solflekker, og herfra sendes solvinden ut.

### Solvind

Solvind er elektrisk ladde partikler som sola sender ut i verdensrommet. Det er elektroner, protoner og tynge atomkjerner.

### Jordas magnetfelt

Alle som kan bruke et kompass, vet at jorda har et magnetfelt. Feltet styrer solvindpartiklene mot jordas magnetiske poler.

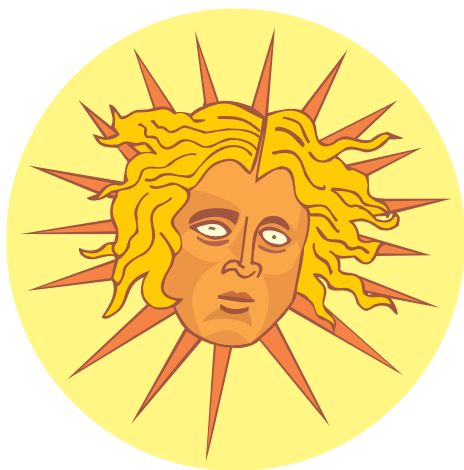
### Bohrs atommodell

Fargene i nordlyset vil du forstå bedre når du vet noe om hvordan atomer og molekyler er bygd opp.





# Sola - kilden til nordlyset



Menneskene har studert sola i tusener av år. Lenge var alle studier begrenset til det en kunne se med det blotte øye. Da teleskopet ble oppfunnet, kunne en se finere detaljer, blant annet *solflekker*.

I vårt århundre har vi fått måleinstrumenter som kan registrere radiobølger, UV-stråling og røntgenstråling. Det viser seg at alle disse stråletypene, som vi ikke kan se med det blotte øyet, blir sendt ut fra sola. All solstråling med bølgelengde under 290 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 0,000\,001 \text{ mm}$ ) blir stoppet av atmosfæren. Dette gjelder bl.a. røntgenstråling og den mest kortbølgede UV-strålingen, og disse kan ikke observeres fra bakken. Det var først da «romalderen» startet at vi kunne få nærmere kjennskap til denne strålingen. Ved å studere UV- og røntgenstråling kan vi få ny kunnskap om sola.

Satellitter og romlaboratorier har spilt en viktig rolle for solforskningen. De romlaboratoriene som idag gir oss informasjon om sola er i første rekke *SOHO*, men også *Ulysses* og det japanske *Yohkoh*.

## Solas størrelse og struktur

Sola er en stjerne akkurat som dem vi ser på himmelen, men mange tusen ganger nærmere. Sola er det desidert

største legemet i vårt solsystem; den inneholder 99% av massen i solsystemet. Sola består av 75% hydrogen og 25% helium. Det er de to letteste av alle grunnstoffer. Alle andre stoffer til sammen utgjør ikke mer enn 0,1 % av solas masse.

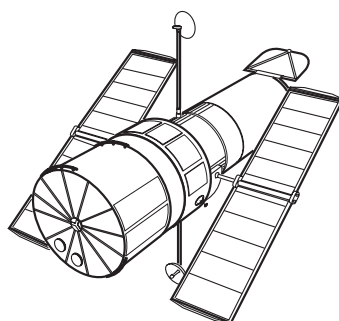
Sola roterer med en omdreiningstid på ca. 27 dager. Omdreiningstiden er ikke like stor over hele sola. Dette høres kanskje rart ut, men det kommer av at sola består av gass og at de ulike gasslagene kan bevege seg i forhold til hverandre. Nær solas ekvator er omdreiningstiden ca. 25,5 dager; ved 60° bredde er den ca. 32 dager, og nær polene enda lengre.

Det ser ut til at det indre av sola roterer med en fast rotasjonstid (27 - 28 dager) og at det bare er det ytterste laget («konveksjonslaget») hvor

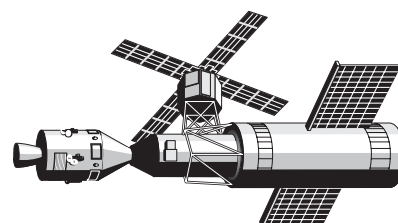
rotasjonstiden varierer. I bunnen av konveksjonslaget, der to lag med ulik rotasjonshastighet møtes, tror man at solas magnetfelt oppstår.

I solas indre er temperaturen omkring 15 millioner grader, og trykket er 250 milliarder ganger større enn lufttrykket ved jordoverflaten. Gassene i solas indre er presset sammen til en tetthet som er 150 ganger større enn vann. En melkekartong full av slikt «solstoff» ville veie 150 kg.

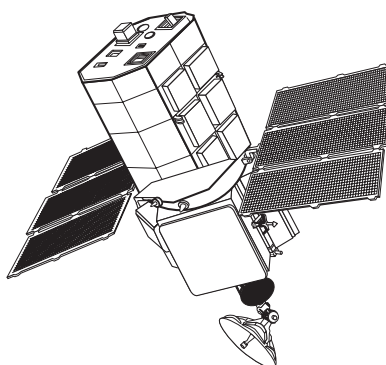
Når temperaturen er så høy, er atomene i en helt spesiell tilstand, der alle elektronene er løsrevet fra atomkjernene. Solas indre består av hydrogen- og heliumkjerner (+ noen få andre kjerner) samt elektroner som beveger seg om hverandre med enorm hastighet.



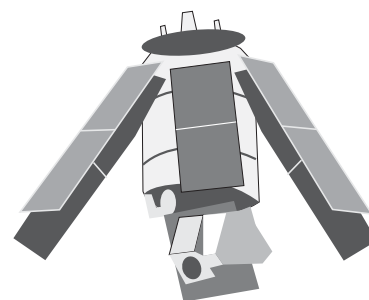
*Hubble*



*Skylab*



*Solarmax*

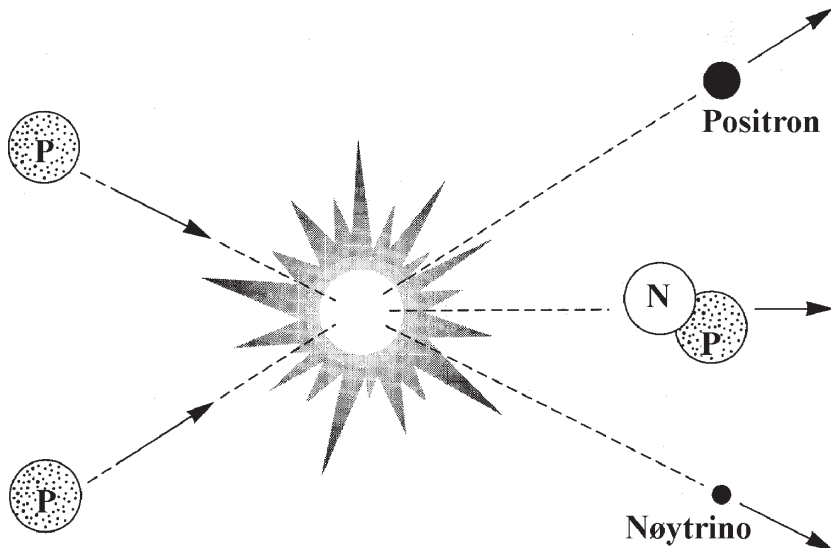


*Ulysses*

Noen av de romlaboratoriene som brukes til å studere sola og verdensrommet.



## Slik lages energi i sola



Figur 3. Slik tenker en seg starten på energiproduksjon i sola. Protoner (merket P) smelter sammen og danner døytroner, som består av ett proton og ett nøytron (merket N). Prosessen går videre, og ialt smelter 4 protoner sammen og danner heliumkjerner. I prosessen frigjøres energi. Det frigjøres også små partikler, **nøytrinoer**, som farer ut av sola, gjennom verdensrommet og treffer blant annet jorda. Studiet av nøytrinoer gir oss informasjon om prosessene på sola.

I den intense heten i solas indre vil partiklene stadig kolliderer med hverandre. Noen ganger vil to protoner kolliderer med så høy hastighet at de smelter sammen (se figur 3), en prosess som fører til frigjøring av energi.

I solas indre har vi «solovnen». Den brenner og brenner og lager den energien som er grunnlaget for alt liv på jorda. Brenselet er hydrogenatomer (nærmere bestemt protoner, kjernen i H-atomet). Når fire og fire H-atomer smelter sammen til helium, frigjøres det mye energi. Prosessen kalles *fusjon*, og du kan lese mer om den i Temahefte 2, «Vår strålende verden». I figur 3 er vist første trinn i forbrenningsprosessen, der to protoner smelter sammen.

Sola har lyst i ca. 5 milliarder år, og den har nok brensel til å skinne i 5 milliarder år til. Men selv sola vil ikke leve evig - til slutt vil den gå tom for brennstoff og slukne.

I fusjonsprosessen blir det frigjort noen små, nøytrale partikler som kalles

*nøytrinoer*. De farer ut av sola, og noen av dem treffer jorda. Nøytrinoer reagerer nesten ikke med noe som helst - de fleste som treffer jorda, går tvers igjennom kloden. Idag har vi måleutstyr som, når det er beskyttet mot all annen stråling (langt inne i fjellet eller dypt nede i havet), kan registrere nøytrinoer. Denne forskningen kan gi oss spennende, ny informasjon om sola.

### Solovnen

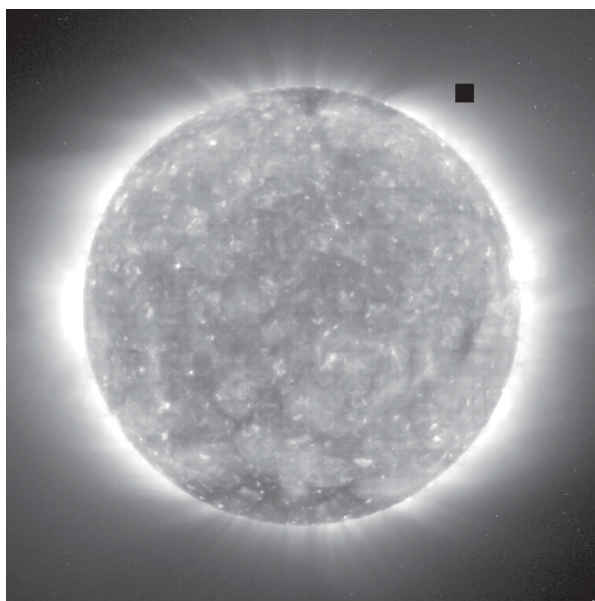
Solas brensel er hydrogenatomer. Hvert sekund brukes 700 millioner tonn brensel som omdannes til 695 millioner tonn helium. Det betyr at 5 millioner tonn omdannes hvert sekund til energi. Hvis du lurer på hvor mye 5 millioner tonn er, så tilsvarer det i masse at alt vannet i Mjøsa ville rekke til én times fyring på sola.

Du kan beregne hvor mye energi det blir etter Einsteins berømte formel for masse (m) og energi (E):

$$E = mc^2$$

c er lyshastigheten,  $3 \cdot 10^8$  m/s.

Det er bare innenfor et område på ca. 0,3 solradier fra solas sentrum at temperatur og tetthet er store nok til at fusjonen kan gå. Energien som dannes er i form av fotoner med kort bølgelengde (gammastråling). På veien fra solas indre mot de ytre lagene absorberes fotonene og sendes ut igjen med stadig lengre bølgelengde. Utenfor en avstand på 0,7 solradier foregår energitransporten ved strømmer av gass. Det er dette som kalles konveksjonslaget. Energien som dannes i solas indre, bruker millioner av år på veien ut mot overflaten. Herfra sendes den ut, vesentlig som synlig lys.



Figur 4. Dette bildet av sola er tatt i UV-stråling (bølgelengde 19,5 nm) i stedet for lys. Bildet er tatt fra romlaboratoriet SOHO, langt utenfor jordas atmosfære. Det er høyt ioniserte jernatomer ved en temperatur på 1,5 millioner grader som sender ut slik stråling.



## Solas overflate

Sola er en gasskule. Den har ingen fast overflate, men består av en rekke lag der det er en gradvis overgang i temperatur og tetthet utover fra solas tette, varme sentrum til det tomme verdensrommet. Det er naturlig å dele solas ytre deler inn i tre lag. Det er (regnet innenfra) fotosfæren, kromosfæren og koronaen.

### Fotosfæren

Fotosfæren er den overflaten som vi ser som en lysende solskive. Det er fra denne vi får det meste av sollyset. Den er bare ca. 200 km tykk, og har en temperatur på 5000 til 6000 grader. De som kan litt fysikk, kan beregne denne temperaturen. Det er slik at solstrålingen ligner på strålingen fra det vi kaller et «svart legeme». Solstrålingen har størst intensitet ved 490 nm. Da sier Wiens lov for svarte legemer at temperaturen er 5900 grader.

Fotosfæren ser «prikkete» eller kornete ut på bilder (figur 5). Dette skyldes gassstrømmer som beveger seg oppover og nedover i denne delen av sola. De mørke kornene er gass som går nedover i sola; de lyse er gassstrømmer utover.

### Kromosfæren

Kromosfæren er laget som ligger over fotosfæren. Det er fra 5000 til 10 000 km tykt og har en temperatur som går fra ca. 10 000 grader og oppover etterhvert som en beveger seg utover mot koronaen. Kromosfæren sender ut UV-stråling og synlig lys. Fra SOHO-laboratoriet kan en studere temperatur, tetthet og hastighet til gassene i kromosfæren og koronaen.

### Koronaen

Koronaen er solas ytterste lag. Temperaturen her er 1 til 2 millioner grader. Ved så høye temperaturer er atomene nesten «strippet» for alle sine elektroner (vi sier at atomene er «høyt ioniserte»). Disse atomene sender ut

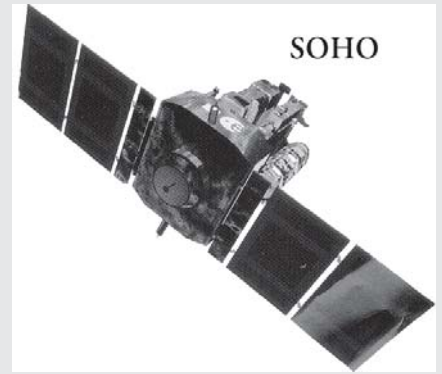
## SOHO

1990-årenes romlaboratorium SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) ble sendt opp 2. desember 1995. SOHO befinner seg i en bane mellom jorda og sola omkring det punkt der tyngdekraften fra sola og jorda er like stor. Dette punktet ligger 1,5 millioner km ute

i rommet (ca. 250 jordradier fra oss). SOHO har en rekke instrumenter som gjør det mulig å overvåke solas aktivitet. En av hovedoppgavene til romlaboratoriet er å studere solvinden som gir grunnlaget for nordlyset.

Fra SOHO tas en rekke bilder av sola ved hjelp av UV-stråling fra kromosfæren. Et eksempel kan du se i figur 4.

SOHO har også instrumenter som vil gi oss ny informasjon om solas indre, så det er spennende tider vi går inn i. SOHO er et internasjonalt samarbeidsprosjekt mellom den europeiske (ESA) og amerikanske (NASA) romorganisasjonen.



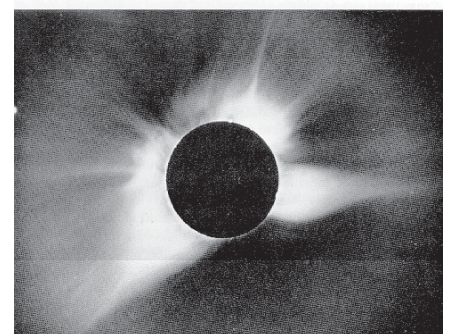
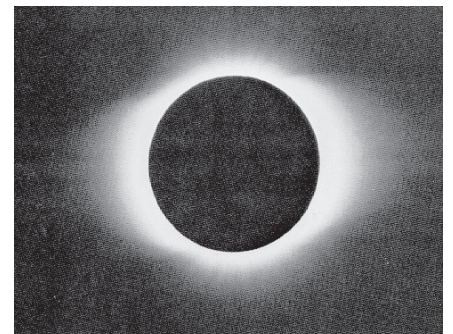
stråling i UV- og røntgenområdet som vi kan bruke til å studere koronaen. Det japanske romlaboratoriet Yohkoh (som på japansk betyr «solstråle») har instrumenter som tar røntgenbilder av sola.

Koronaen er ikke kuleformet - den kan noen ganger ha lange utløpere ut i verdensrommet. Dette skjer særlig i perioder med høy solaktivitet (se nedenfor).

## Solaktivitet

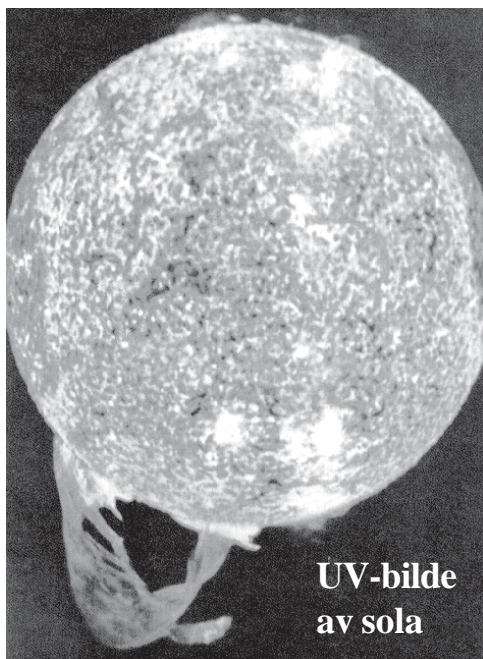
Studerer vi sola nærmere, oppdager vi at den ikke oppfører seg likt bestandig. Strålingen varierer i sammensetning og intensitet, koronaens form endrer seg, og solflekktaktiviteten (se neste side) varierer. Alle disse variasjonene henger sammen med solas magnetfelt, og de har stort sett en periode på 11 år. Hvert 11. år har solaktiviteten et maksimum, og i perioden omkring maksimum kan en observere store buer av gass som strekker seg fra soloverflaten og ut i rom-

met (se figur 5). Slike begivenheter kalles *solutbrudd*. Når solaktiviteten er høy, er også solvinden sterkere, og vi ser ofte sterke nordlys på jorda.



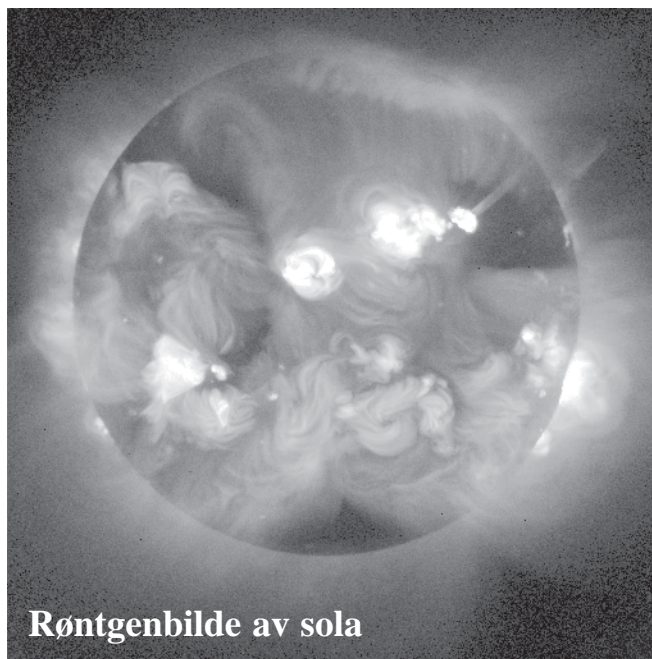
*Solas korona i en aktiv (under) og en mindre aktiv (over) periode*





UV-bilde  
av sola

Figur 5. Et bilde av sola tatt i UV-lys (bølglengde 304 nm). Bildet er tatt fra Skylab, 19. desember 1973. Hele jordkloden ville lett fått plass inne i buen av lysende gass.



Røntgenbilde av sola

Figur 6. Dette er et røntgenbilde av sola tatt 12. november 1991 fra romlaboratoriet Yohkoh. Der det er lyst er intensiteten av røntgenstråling stor. De mørke områdene er såkalte «koronahull». Herfra strømmer solvinden ut i verdensrommet.

## Solflekker

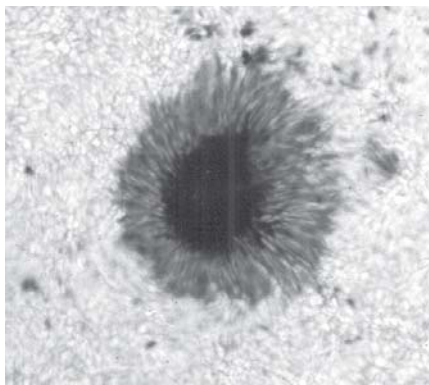
Solflekker ser ut som små, mørke «blemmer» på soloverflaten. De er mørke i forhold til den lysende solskiven fordi temperaturen er omkring 1500 grader lavere. Når sola står lavt og det er disig, kan en se store solflekker med det blotte øyet, men du bør ikke forsøke deg på det fordi du lett kan skade øyet.

Da teleskopet kom i bruk omkring 1610, kunne en studere solflekkenes. De opptrer gjerne i grupper, og fordi sola roterer ser det ut som om de beveger seg over solskiven. Forrest i gruppen (i rotasjonsretningen) er to store flekker, ledeflekken og følgeflekken. Solflekkenes opptrer mellom solas ekvator og ca. 40 graders bredde på begge solas halvkuler.

Antall solflekker varierer fra dag til dag. Det var den sveitsiske astronomen Johann Rudolph Wolf som i 1848 innførte daglige målinger av solflekkenes. Antall solflekker øker og minker med en periode på ca. 11 år. Solflekkperiodens lengde har variert fra 9,0 år til 13,6 år. Den siste perio-

den startet i 1986, hadde maksimum i 1989 - 1991 og endte i slutten av 1996. Neste maksimum ventes omkring år 2000. Fra 1750 begynte en å nummerere solflekkperiodene. Siden den tid har det vært 22 perioder, og i 1997 starter vi på periode 23. I fig.7 ser du solflekkeaktiviteten i perioden 1954 - 1996.

Når det er mange solflekker, er det generelt stor solaktivitet og dermed mye nordlys på jorda. I en periode fra 1640 til ca. 1710 var det nesten ingen solflekker. Denne perioden kalles *Maunder minimum* etter den engelske astrofysikeren Walter Maunder. I denne perioden var det usedvanlig kaldt både i



### Yohkoh

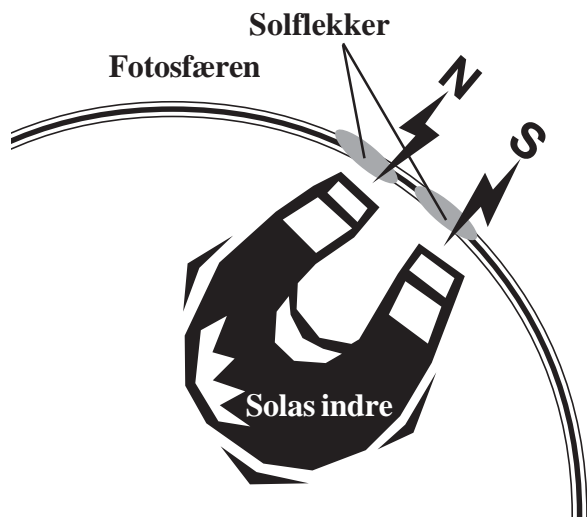
Det japanske romlaboratoriet ble sendt opp 30. august 1991. Det går i en oval bane rundt jorda og har en omløpstid på 96 minutter. Fra Yohkoh kan en «se» sola i 65 - 75 minutter under hvert omløp.

Yohkoh har fire instrumenter som måler røntgenstråling. Det viser seg at de mest intense røntgenstråleområdene ligger over solflekkenes eller de aktive områdene på soloverflaten.

Yohkoh har målt røntgenstråleintensiteten fra 1991 da sola viste stor aktivitet (det var midt i solflekkperiode 22). Det viste seg at røntgenstråleaktiviteten avtok i takt med nedgangen i antall solflekker. Det blir spennende å se om aktiviteten tiltar igjen når vi nå går inn i en ny solflekkperiode.

Diameteren på denne solflekken er omtrent den dobbelte av jordas diameter (altså ca. 12 000 km).





I en solflekkegruppe er de to dominerende flekkene henholdsvis magnetisk nordpol og sydpol. Vi kan forestille oss at det ligger en stor hestesko-magnet nede i sola med polene opp i fotosfæren og én solflekke ved hver pol.

Nord-Amerika og i Europa. Perioden er kjent som *Den lille istid*. I denne perioden var det også lite nordlys, hvilket viser sammenhengen mellom solflekker, solaktivitet og nordlys.

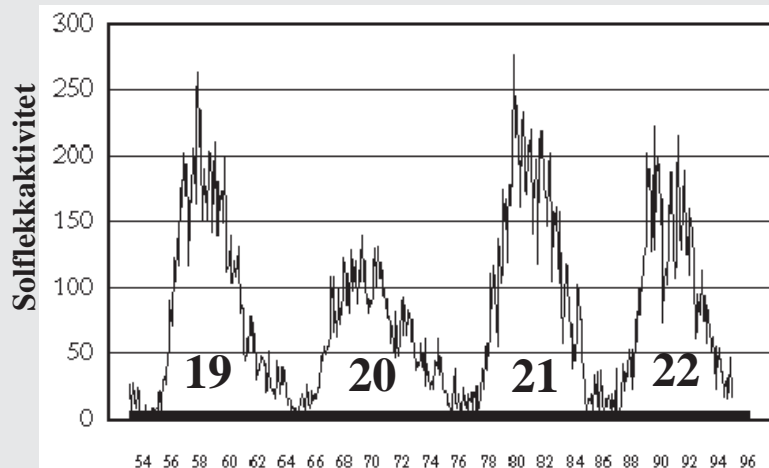
En mener at det også tidligere har vært perioder med liten forekomst av nordlys. Det gjelder perioden 1420 til 1500 (det såkalte *Spörer minimum*) og perioden 1290 til 1340 (*Wolf minimum*).

## Magnetfeltene på sola

I begynnelsen av det 20. århundre oppdaget en at solflekkene var knyttet til sterke magnetfelt. Vi vet at alle magnetfelt har en nordpol og en sydpol. Magnetfeltlinjene på sola ser ut til å samles i solflekker, som om flekkene var magnetpoler. I en solflekkegruppe opptrer ledeflekken og følgeflekken som hver sin magnetpol.

I én solflekkeperiode er alle ledeflekker på solas nordlige halvkule magnetiske nordpoler og alle på solas sydlige halvkule sydpoler; i neste solflekkeperiode er det omvendt. Det betyr at sola har en magnetisk periode på ca. 22 år (2 solflekkeperioder).

Vi får informasjon om magnetfeltene på sola ved å studere lyset som sen-



År (1954 til 1996)

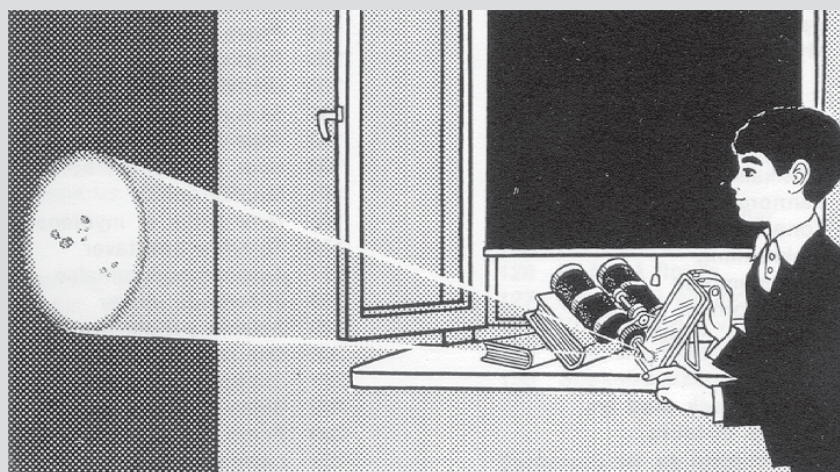
Figur 7. Antall solflekker for de siste 4 periodene. Vi passerte et minimum høsten 1996 og forventer nå at periode 23 vil ha sitt maksimum omkring år 2000 eller 2001.

des ut fra atomer i fotosfæren. Atomene som ellers sender ut lys med en bestemt bølgelengde, vil, når de plasseres i et magnetfelt, i stedet sende ut lys med to bølgelengder, én litt lengre og én litt kortere enn den opprinnelige. Dette kalles *Zeemaneffekten* etter Peter Zeeman som oppdaget den i 1896. Forskjellen i bølgelengde forteller om styrken på magnetfeltet.

Magnetfeltene i solflekkene har en styrke på 0,1 til 0,4 tesla, mens det er feltet på ca. 0,01 tesla over hele soloverflaten. Dette er sterke magnetfelt; til sammenligning er magnetfeltet på jorda, som du bruker når du løper etter kompass, bare på ca. 0,00005 tesla. På sola er det et virvar av magnetfeltet - dem kan en ikke bruke til å orientere etter!

## Slik kan du observere solflekker !

Rett en alminnelig kikkert mot sola med objektivet (den vide enden, der du ikke har øyet) mot sola og la lyset komme ut gjennom okularet (der du ellers har øyet) og treffe et speil som sender lyset mot en vegg, et ark e.l. Det bør være så mørkt som mulig i rommet. Du vil se et bilde av sola på veggen. Still kikkerten skarpt, og hvis du er nøyaktig og kikkerten er god, vil du se mørke solflekker på den hvite flaten. Omkring år 2000 vil det sannsynligvis være mange solflekker.





# Solvind

## Hva er solvind ?

I forrige århundre oppdaget en at styrken på jordas magnetfelt plutselig kunne øke med et par prosent for så sakte å avta igjen. Vanligvis forekom disse såkalte «geomagnetiske stormene» (geo betyr jord) én til to dager etter et stort solutbrudd. En fant også at jordmagnetfeltet varierte med solas aktivitetsperiode på ca. 11 år. Følgelig måtte det være en forbindelse mellom jorda og sola. Denne forbindelsen er *solvinden*.

I 1958 foreslo amerikaneren Eugene Parker at gasstrykket i solas korona var stort nok til å drive gass ut i verdensrommet - en «vind» av partikler strømmet ut fra sola i alle retninger med en hastighet omkring 350 km pr. sekund.

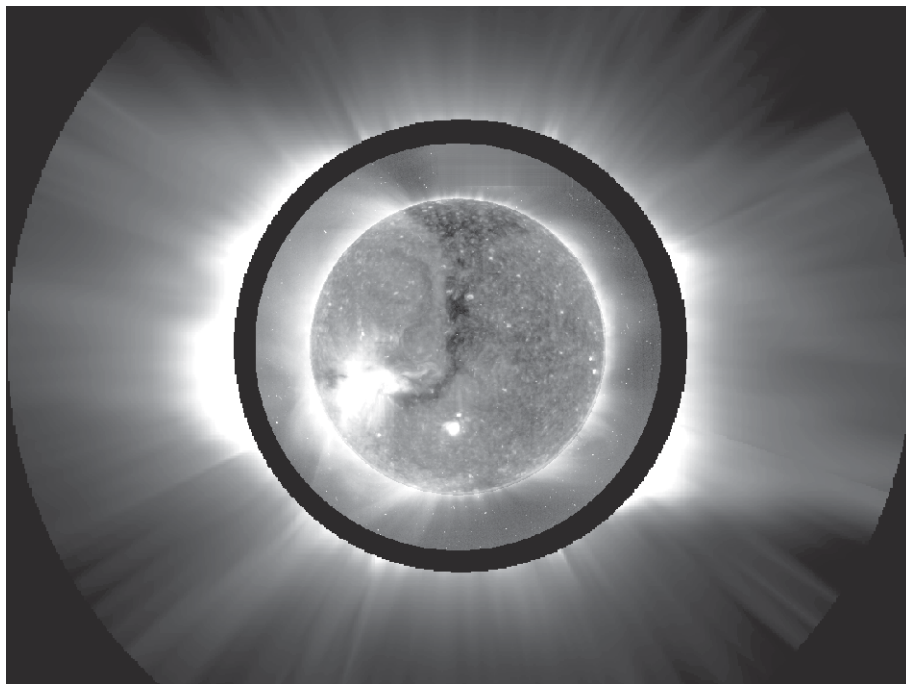
## Hva vet vi idag ?

Omkring solas ekvator vil magnetfeltet for det meste holde på den overopphetede gassen i koronaen, men av og til vil noe strømme ut i et traktformet utbrudd. Dette gir opphav til det vi nå kaller «den langsomme» solvinden, med hastighet på 350 - 400 km pr. sekund. Siden hastigheten for oksygenatomer i solvinden er lavere enn for hydrogenatomer, mener vi at denne solvinden er drevet av varme. Dette har vi fra uttrykket for bevegelsesenergi og temperatur:

$$\frac{1}{2}mv^2 = kT$$

k er en konstant, og T er temperaturen i koronaen. Siden kT er lik for alle atomene i solvinden, og siden massen (m) til oksygen er større enn massen til hydrogen, må hastigheten (v) bli mindre for oksygen.

Solas magnetfelt kan stort sett beskrives med lukkede magnetfeltlinjer (buer som begynner og ender på sola), men i koronaen er det en rekke «hull» der magnetfeltlinjene peker rett ut i rommet. Her kan solvindpartikler strømme



Figur 8. Dette er to UV-bilder tatt av sola fra romlaboratoriet SOHO. Hensikten er å vise hvordan solvinden går ut i verdensrommet. Bildene er lagt på hverandre. Det som er utenfor den svarte sirkelen viser hvordan oksygenatomer flyr ut fra sola og danner solvinden. Det som er innenfor den svarte sirkelen viser solskiven i lyset fra ioniserte jernatomer ved en temperatur på 2 millioner grader. De mørke områdene er såkalte «koronahull», og fra disse kommer solvinden med størst hastighet.

uhindret ut. Fra koronahullene kommer den «hurtige» solvinden. Partiklene har en hastighet på 700 til over 900 km pr. sekund.

UV-målinger viser at langt utenfor koronahullene (ca. 1,7 millioner km) har oksygenatomene langt større bevegelsesenergi enn hydrogen. Det betyr at det ikke kan være varme som driver denne solvinden. Idag vet vi ikke hvilke prosesser som akselererer den hurtige solvinden. Det er ett av de mysterier vi håper SOHO kan løse.

## Oppsummering

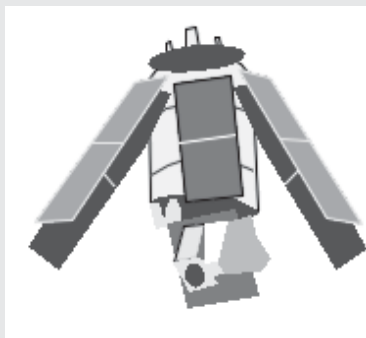
I solas indre er temperaturen så høy at atomkjerner og elektroner er helt adskilt - de beveger seg om hverandre i et såkalt «plasma». Her skapes energien ved fusjon av hydrogenatomer til helium. Energien føres utover i sola, og temperaturen synker.

På solas overflate er temperaturen «bare» 5000 - 6000 grader. Fra fotosfæren kommer det synlige lyset som gjør at vi ser en lysende solskive. Utover i kromosfæren og koronaen øker temperaturen igjen, og en god del av atomene mister elektroner og blir ionisert. Fra disse områdene sendes det ut UV- og røntgenstråling. Denne strålingen må studeres med instrumenter som er plassert i romlaboratorier utenfor atmosfæren, fordi jordas atmosfære stopper UV- og røntgenstråling.

Magnetfeltet på sola er mer komplisert enn jordmagnetfeltet. For det første er det langt sterkere; for det andre har ikke sola bare to, men en rekke magnetiske poler. Det er særlig ut fra polområdene eller «hullene» i magnetfeltet at solvinden slipper ut i verdensrommet. Solas magnetfelt er dynamisk, det vil si at solvinden varierer i tid.



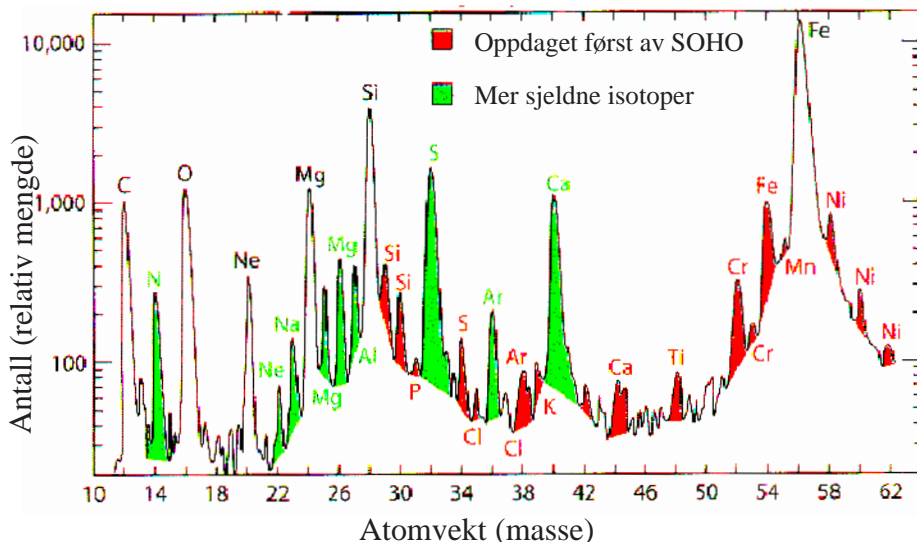
# Ulysses



Romlaboratoriet Ulysses ble sendt ut i rommet i 1990. Det skal studere solvind, i første rekke i områdene rundt solas to geografiske poler.

Jorda og alle planetene ligger omtrent i et plan som utgår fra solas ekvator (ekliptikken). For å komme utenfor ekliptikken fikk Ulysses «hjelp» av tyngdekraften fra Jupiter. Den passerte Jupiter og ble «slynget ut» av planet, og går nå i en bane som omslutter solas nord- og sydpol. Den passerte sydpolen første gang i 1994 og nordpolen i august - september 1995. Den er nå inne i sin 2. runde om sola.

Ulysses fant på sin første runde rundt sola at på bredder over 40 grader er solvindhastigheten ganske stabil og omkring 750 km pr. sekund. Hastighet og temperatur bestemmes ved å studere partikkelsammensetningen og bevegelsen av solvinden.



Figur 9. Selv om solvinden for det meste består av elektroner og protoner, er det mange tyngre ioner som er til stede. Figuren viser de grunnstoffer som er observert med instrumenter ombord i SOHO. Vi ser en lang rekke stoffer som karbon (C), nitrogen (N), oksygen (O), neon (Ne), natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), silisium (Si), fosfor (P), svovel (S), klor (Cl), argon (Ar), kalium (K), kalsium (Ca), titan (Ti), krom (Cr), mangan (Mn), jern (Fe), og nikkel (Ni).

**Solvind** er en blanding av elektrisk ladde partikler. Den består for det aller meste av elektroner og protoner. Ca. 8 % er heliumkjerner (to protoner og to nøytroner), og det forekommer også små mengder av en lang rekke tyngre ioner (se figur 9).

**Tettheten** av partikler avtar med avstanden fra sola. Ved banen til jorda (ca.  $1,5 \cdot 10^8$  km fra sola) er tettheten omkring 3 - 10 millioner partikler pr. kubikkmeter.

**Hastigheten** til solvinden når den treffer jordatmosfæren er ca. 400 km pr. sekund, men den er ikke konstant. Av og til kommer det strømmer med en hastighet opp til 1000 km pr. sek. Solvind med den minste hastigheten bruker omkring 4 dager på veien fra sola til jorda.

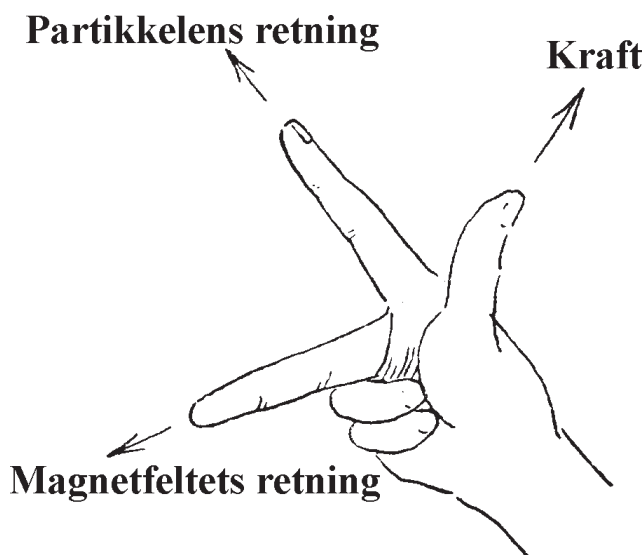


## Hvordan styres solvinden ?

Alle ladde partikler påvirkes av magnetfelt. En kan faktisk bruke magnetfelt til å «styre» ladde partikler. Dette blir gjort i partikkelakseleratorer som brukes til kjernefysisk forskning og til stråleterapi i medisin.

Siden solvinden består av ladde partikler, vil den også påvirkes av magnetfelt. Når partiklene kommer inn i jordas magnetfelt, vil de styres av feltet til områder nær jordas magnetiske poler. Selve styringsprinsippet for ladde partikler i et magnetfelt er vist i figur 10.





Figur 10. Retningen på kraften som virker på en elektrisk ladd partikkel i et magnetfelt. Partikkelen, med ladning  $q$ , kommer med hastighet  $v$  i pekefingerens retning. Magnetfeltets retning er langs langfingeren. Kraften ( $F$ ) som virker på partikkelen har retning langs tommeltotten, loddrett på både pekefinger og langfinger.

Når en partikkel med ladning  $q$  kommer med hastigheten  $v$  inn i et magnetfelt (styrke  $B$ ), blir partikkelen påvirket av en kraft  $F$  som har retning loddrett på partikkelretning og magnetfeltretning og som i størrelse er gitt ved ligningen:

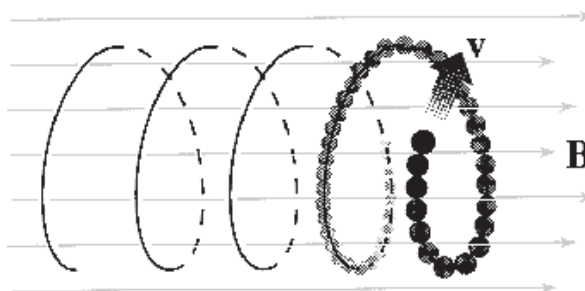
$$F = qvB \sin \phi$$

Her er  $\phi$  vinkelen mellom partikkelens bane og magnetfeltets retning (pekefingeren og langfingeren på figur 10). Ligningen forklarer både hvordan solvindpartiklene kan unnsnippe sola og hvordan de styres inn mot jordas magnetiske poler. Dette skal vi se litt nærmere på.

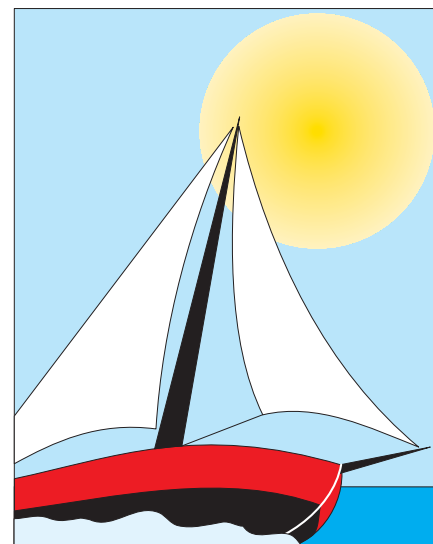
Hvis partikkelen beveger seg **langs** magnetfeltet (vinkelen  $\phi$  er 0, og det betyr at  $\sin \phi$  er lik 0), vil kraften  $F$  bli null. Derfor slipper solvinden lett ut fra «koronahullene», der magnetfeltet er nesten vinkelrett på soloverflaten.

Hvis partikkelen kommer **litt på skrå** (en liten vinkel) i forhold til magnetfeltet, vil den gå i en **spiralformet bane** langs magnetfeltlinjene. Det er dette som skjer når solvindpartiklene treffer jordas magnetfelt: de blir bøyd av og går i spiralformete baner mot jordas magnetiske poler.

Spiralene til positivt og negativt ladde partikler går hver sin vei. Videre vil spiralen for en partikkel mot sydpolen være motsatt spiralen for samme partikkel når den går mot nordpolen.



En partikkel med ladning styres i en spiralbane langs magnetfeltlinjene.

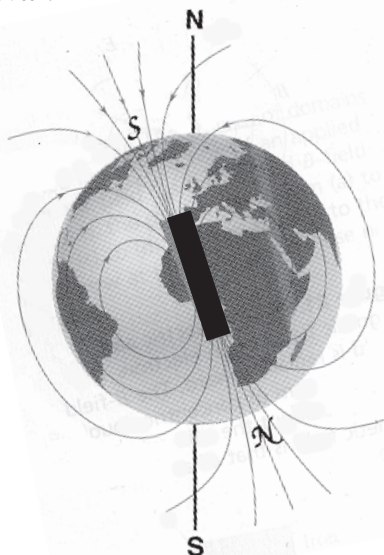


Du kan ikke seile ved hjelp av solvinden, men «stormene» på sola kan ha stor betydning for oss på jorda.



# Jordas magnetfelt - nordlysets veiviser

Sola, jorda og nesten alle planetene har et magnetfelt. Jordas magnetfelt har vært benyttet til retningsangivelser i mer enn 1000 år. Vi bruker kompass på sjøen og i orienteringsløypa, og det er godt å ha på fjellet i tåke og uvær.



En tror det er strømmer av flytende jern og nikkel i jordas indre som skaper jordmagnetfeltet. Det oppfører seg omtrent som om det var en stor stavmagnet i jordas indre. Denne stavmagneten ligger ikke helt parallelt med jordaksen, så magnetpolene er forskjøvet i forhold til de geografiske polene.

Vi illustrerer gjerne magnetfelter ved å tegne *feltlinjer*. En liten, fri stavmagnet på jordoverflaten vil innstille seg parallelt med feltlinjene (en kompassnål vil være parallell med horisontalkomponenten av feltlinjene). Der feltlinjene ligger tette (som ved polene), er feltet sterkest.

For omkring 170 år siden ble det utrustet flere ekspedisjoner for å finne jordas magnetpoler. Den i nord trodde man lå et sted langt nord i Canada. Det var engelskmannen James Clark Ross som 1. juni 1831 (klokken 8 om morgenen) fant polpunktet på vestkysten av øya Boothia. Ross trodde selv at han var «within a mile» fra selve polpunktet. Dette er tvilsomt,

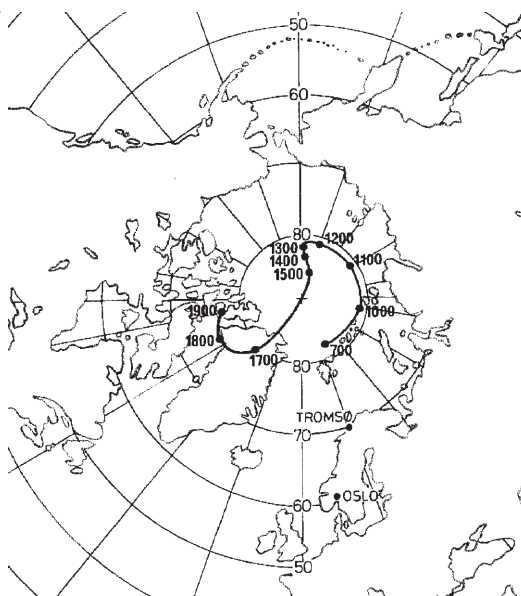
for det har siden vist seg vanskelig å bestemme punktet bedre enn innen ca. 100 km.

Vi kan nevne at Roald Amundsen på Gjøa-ekspedisjonen i 1903 - 1906 hadde som et av sine hovedmål å finne magnetpolen på den nordlige halvkule. Han målte kontinuerlig i mer enn 700 dager og gjennomførte flere sledeturer.

Vi vet nå at selve polpunktet ikke ligger stille, men flytter seg med en hastighet på 20 - 30 km pr. år (se figur 11).



*Polarskipet Gjøa frosset fast i isen på reisen gjennom Nordvestpassasjen. Nå er Gjøa på Bygdø i Oslo etter at den i mange år lå i Golden Gate Park i San Francisco.*



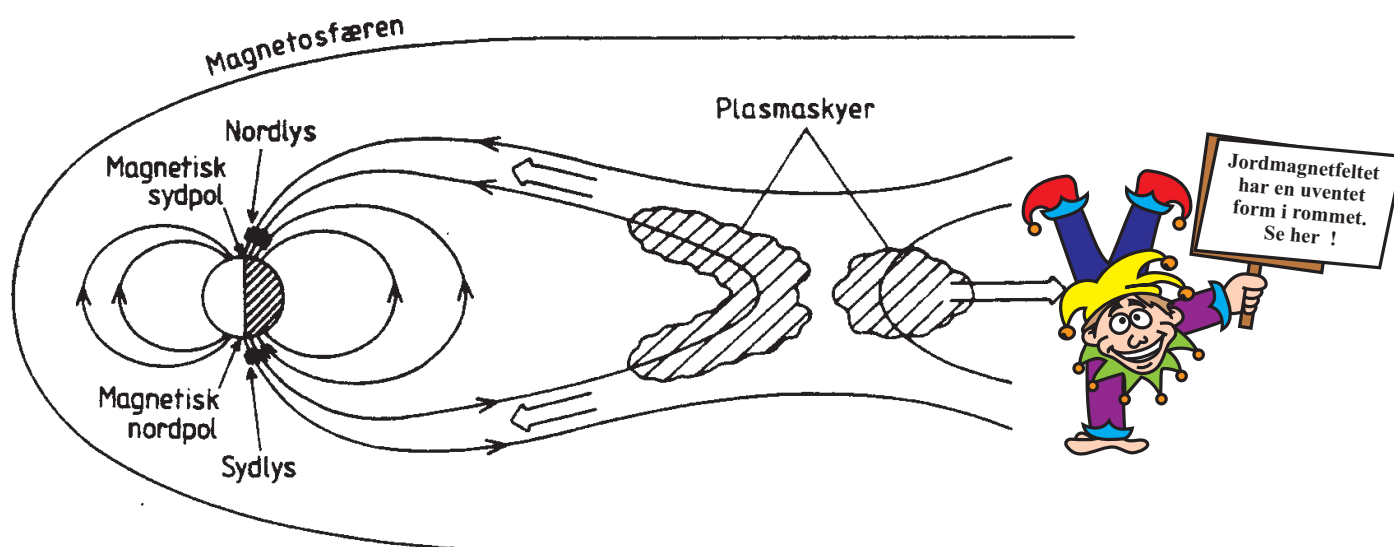
*Figur 11. Dette kartet viser hvordan den magnetiske polen har «vandret» de siste 1200 årene. Polpunktet ligger alltid i midten av nordlyssonen. Det betyr at nordlyssonen (der du ser mest nordlys) har flyttet på seg gjennom tidene. Den plassering polen har i dag gjør at en sjelden ser nordlys i Syd-Europa.*

Vi kan nevne at nordmannen Christopher Hansteen, som levde fra 1784 til 1873, målte jordmagnetfeltet og laget de første kart som viste hvordan jordmagnetfeltet varierte fra sted til sted.

Jordmagnetfeltets styrke er ca. 0,00005 tesla (0,5 gauss).

Feltet varierer litt fra sted til sted, og dette er bl.a. avhengig av hvilke bergarter som finnes på stedet. Jordmagnetfeltet har et minimum utenfor Brasil på ca. 0,000025 tesla og et maksimum i polområdene på ca. 0,00006 tesla.





Figur 12. Jordmagnetfeltet er en kombinasjon av «hovedfeltet» fra jorda selv og felter som skyldes en strøm av partikler i den øvre atmosfære. Jordas magnetfelt danner nærmest et hulrom i det interplanetariske rom som kalles «magnetosfæren». Den er sammentrykket på solsiden (dagsiden, til venstre på figuren) og strekker seg ut i en lang hale på nattsiden. På figuren er feltet vist i et plan, men i virkeligheten er det 3-dimensjonalt. På dagsiden er det nærmest en halvkule og på nattsiden en lang sylinder.

Vi har sett at jordmagnetfeltet ligner feltet fra en stavmagnet. Men langt ute i rommet formes feltet av solvinden, og resultatet er at jordmagnetfeltet har en lang «hale» som strekker seg ut i rommet vekk fra sola. Formen er vist

i figur 12. På den siden av jorda som vender mot sola strekker feltet seg omkring 60 000 km vekk fra jorda; på nattsiden blir det en lang hale som strekker seg mer enn 600 000 km utover.

Feltet er ikke konstant - det har både korte og mer langvarige endringer. Disse endringene skyldes variasjoner i solvind og mer langsomme endringer i jordas eget felt.

## Nordlyset tennes

Når solvindpartiklene (for det meste elektroner og protoner) kommer nærmere jorda, møter de jordas magnetfelt og blir styrt av dette. Etterhvert som partiklene kommer nedover i at-

mosfæren, vil de støte på flere og flere av atmosfærens molekyler og atomer. De vil gi fra seg energi i hvert sammenstøt. Det betyr at det dannes både ioniserte og eksiterte molekyler og ato-

mer. Hvordan disse sammenstøtene kan gi opphav til nordlysets karakteristiske farger, skal vi straks se.

**Nordlyset tennes når solvindpartiklene treffer atomer og molekyler i atmosfæren (merket M). Solvindpartiklenes energi avgis i støtprosesser som gir eksiterte atomer og molekyler,  $M^*$ , samt ioner og frie elektroner,  $M^+ + e^-$ . De eksiterte atomene og molekylerne,  $M^*$ , sender ut overskuddsenergien sin i form av lys. Det er dette som er nordlys. Vi kan skrive prosessen slik:**





# Hvordan kan atomer og molekyler i atmosfæren lyse?

For å forklare nordlysets farger må vi ha en modell for hvordan et atom ser ut. I 1913 fremsatte den danske fysikeren Niels Bohr en atommodell som bl.a. kunne forklare hvilke bølgelengder av lys de ulike grunnstoffene kunne sende ut. Vi skal forklare de viktigste prinsippene i denne modellen.

Bohr mente at et atom består av en positivt ladd kjerne og elektroner som kretser omkring kjernen i bestemte baner. Modellen hadde to viktige antagelser eller *postulater*:

## 1. Atomet er stabilt så lenge elektronene er i bestemte baner rundt kjernen.

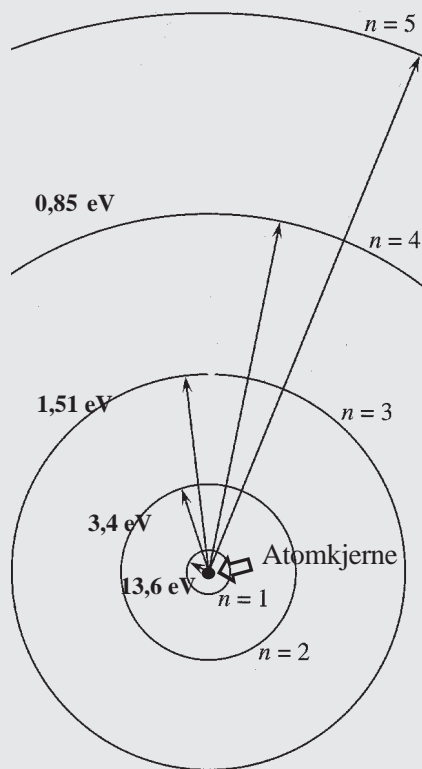
Ifølge klassisk fysikk var dette umulig - man kunne beregne at elektronene ville gå i spiralbaner inn mot kjernen mens de stadig avga energi. Men Bohr viste at hvis man antok at elektronet *likevel* gikk i disse banene uten å miste energi, kunne man forklare mange egenskaper ved atomene.

Hver elektronbane i Bohrs modell tilsvarer en bestemt energitilstand for atomet. Hvis elektronet er i en bane langt fra kjernen, er energien høyere enn hvis det er nær kjernen. Et elektron kan hoppe fra en bane med energi  $E_{n1}$  til en annen bane med energi  $E_{n2}$ . Hvis det hopper utover, kreves det energi; hvis det hopper innover, frigjøres energi. Slike hopp kaller vi *kvantesprang*. Når elektronet hopper innover, kan energien frigjøres i form av et *foton* - et lyskvant.

## 2. Når elektronet «hopper» fra én stabil bane til en annen (nærmere kjernen), kan hele energiforskjellen sendes ut som ett foton.

Dette betyr at ethvert atom bare kan sende ut fotoner med visse, bestemte bølgelengder, avhengig av energiforskjellen mellom elektronbanene. Ut fra de to postulatene kunne Bohr forklare hvilke bølgelengder det kan være på lys som sendes ut fra hydrogenatomet.

### Bohrs atommodell



Figur 13. Bohrs modell av et atom. Atomkjernen er i sentrum, og elektronene kan bevege seg rundt kjernen i bestemte baner. Her er vist de første banene i et hydrogenatom. For de 4 innerste banene er det oppgitt den energien som må til for å «spørke» elektronet fra banen og helt ut av atomet (atomet ioniseres). Energien er oppgitt i elektronvolt (eV).

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Bølgelengden,  $\lambda$ , på fotonet som sendes ut er gitt ved formelen:

$$E_{n1} - E_{n2} = \frac{hc}{\lambda}$$

der  $h$  er Plancks konstant,  $6,63 \cdot 10^{-34}$  Js, og  $c$  er lyshastigheten,  $3 \cdot 10^8$  m/s.

I figur 13 er vist den energimengden som kreves for at et elektron kan hoppe fra hver av de 4 innerste banene og helt ut av hydrogenatomet.



Niels Bohr fremsatte sin atommodell i 1913 og fikk Nobelprisen for arbeidet i 1922.

Hvis et elektron i H-atomet hopper innover fra bane 3 til bane 2 (se figur 13), frigjøres det en energimengde på

$$(3,4 - 1,51) \text{ eV} = 1,89 \text{ eV}.$$

Fotonet som sendes ut, har en bølgelengde på 656,4 nm. Dette kalles  $H_{\alpha}$ -lys. Hvis elektronet hopper fra bane 4 til 2, vil det gi lys med bølgelengde 486,2 nm ( $H_{\beta}$ -lys). Begge disse bølgelengdene finnes i nordlys.

Bohrs modell innebærer at banenes energi varierer fra et atom til et annet. Det betyr at bølgelengden på lyset som sendes ut når det skjer kvantesprang, er forskjellig for atomer av ulike grunnstoffer.

Molekyler er bygd opp av atomer. I atmosfæren har vi for det meste oksygenmolekyler,  $O_2$ , og nitrogenmolekyler,  $N_2$ . Både oksygen og nitrogen har langt flere elektroner enn hydrogenatomet, og dermed flere muligheter til elektronsprang mellom ulike baner. Det betyr at det sendes ut lys ved en rekke ulike bølgelengder, og lysets bølgelengde forteller hvilket atom eller molekyl som har sendt det ut. På den måten er nordlysets farger et «fingeravtrykk» av de atomer og molekyler som finnes i atmosfæren.



# Nordlysets farger

Nordlys ser vi fordi solvindpartiklene kommer inn i atmosfæren og eksiterer atomer og molekyler som de treffer. Som vi har sett, sender disse energien ut igjen i form av lys med bestemte farger. La oss se litt nærmere på hvilke atomer og molekyler som finnes i atmosfæren.

## Jordas atmosfære

Atmosfæren inneholder en rekke gasser hvorav nitrogen og oksygen til sammen utgjør 99%. Tettheten av molekyler avtar med høyden - 100 km oppe er trykket bare  $10^{-7}$  av trykket ved bakken, men det er fortsatt igjen  $10^{18}$  molekyler pr. kubikkmeter!

Høyt oppe i atmosfæren vil gassmolekylene ( $O_2$  og  $N_2$ ) spaltes, og vi får frie atomer (O og N). Noen av atomene er ionisert, dvs. at et elektron er sparket helt ut. Vi har da positive ioner av nitrogen og oksygen. Det høydeområdet i atmosfæren der en finner ioner, kalles for *ionosfæren*. Ionosfæren er høydeområdet over ca. 60 km om dagen og over 90 km om natten.

Det er hovedsakelig denne blandingen av atomer, molekyler og ioner av nitrogen og oksygen som solvinden kan eksitere og som gir nordlys.

## Farger

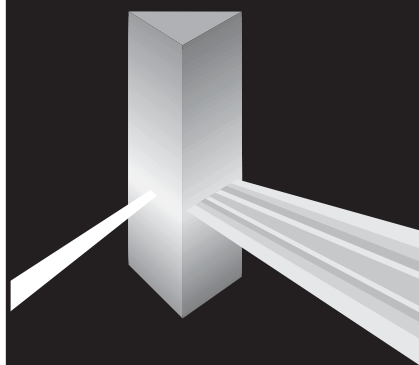
På midtsidene i heftet finner du noen fargebilder som viser at nordlyset kan ha en rekke farger fra rødt via gult og grønt til blått og fiolett. Der er også en figur som viser sollyset sammenlignet med fargene i nordlyset. Sollyset ser hvitt ut, men lar vi det gå gjennom et glassprisme, ser vi at det består av alle regnbuens farger. Nordlyset har ikke på langt nær så mange farger, men begrenser seg til de spesielle bølgelengdene som sendes ut fra atomene og molekylene høyt oppe i atmosfæren.

Den sterkeste nordlysfargen kommer fra oksygenatomet og har bølgelengden 557,7 nm (1 nm er  $10^{-9}$  meter). Dette gir den karakteristiske gulgrønne fargen i nordlyset.

Røde farger ved 630 og 636,4 nm kommer også fra oksygenatomene, mens andre nyanser av rødt stammer fra nitrogenmolekyler ( $N_2$ ).

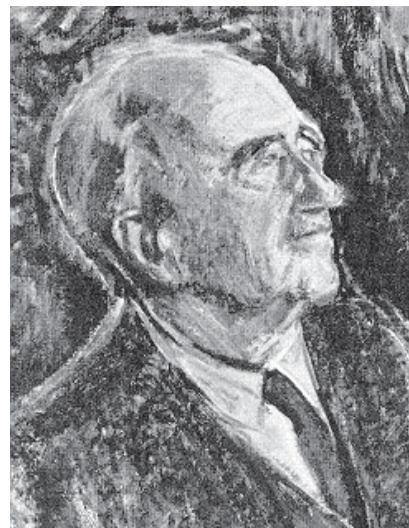
Den blåfiolette fargen, som ofte sees i underkanten av nordlyset, kommer hovedsakelig fra ionisert nitrogen ( $N_2^+$ ). Det sterkeste blåfiolette lyset har bølgelengdene 391,4 og 427,8 nm.

*Sender vi hvitt lys gjennom et prisme, ser vi at det består av alle regnbuens farger.*



## Farger og høyde

Nordlyset har forskjellige farger i ulike høydeområder. Det sterke, grønne lyset finnes mellom 120 og 180 km. Over dette finnes det røde nordlyset, mens det blå og fiolette nordlyset hovedsakelig opptrer under 120 km. Blodrødt nordlys forekommer mellom 90 og 100 km over bakken når det er «uvær» på sola. En helt rød nordlyshimmel opptrer noen få ganger på lave breddegrader. I tidligere tider trodde man ofte at dette skyldtes en stor ildebrann i horisonten.



*Lars Vegard var professor i fysikk ved Universitetet i Oslo fra 1918 til 1950.*

## Nordlys fra hydrogen. Proton-nordlys

Nordmannen Lars Vegard oppdaget i 1939 svakt nordlys med bølgelengdene 486,1 og 656,3 nm. Dette er meget interessant, fordi bølgelengdene forteller at lyset må stamme fra hydrogenatomet (se s. 15).

Vegard skjønte at det var hydrogenatomer som var kilden til dette lyset. Det er meget lite hydrogen i det høydeområdet der nordlyset opptrer. Lyset kommer fra protonene i solvinden, ikke fra atmosfærens egne atomer og molekyler. Protonene selv sender ikke ut lys, men de vil støte mot atomer og molekyler på sin vei, og dermed er det muligheter for at de vil plukke opp et elektron slik at det blir dannet et H-atom (fig 14). Dette atomet kan godt være i en eksitert tilstand, dvs. at elektronet er i en bane med høyere energi enn grunntilstanden. Disse eksiterte hydrogenatomene kan sende ut lys med bølgelengdene  $H_\alpha$  og  $H_\beta$ .

H-atomene som sender ut lys og som stammer fra solvindprotoner er ikke i ro når lyset sendes ut. Dette gir seg utslag i en interessant fysisk effekt, *dopplereffekten*.

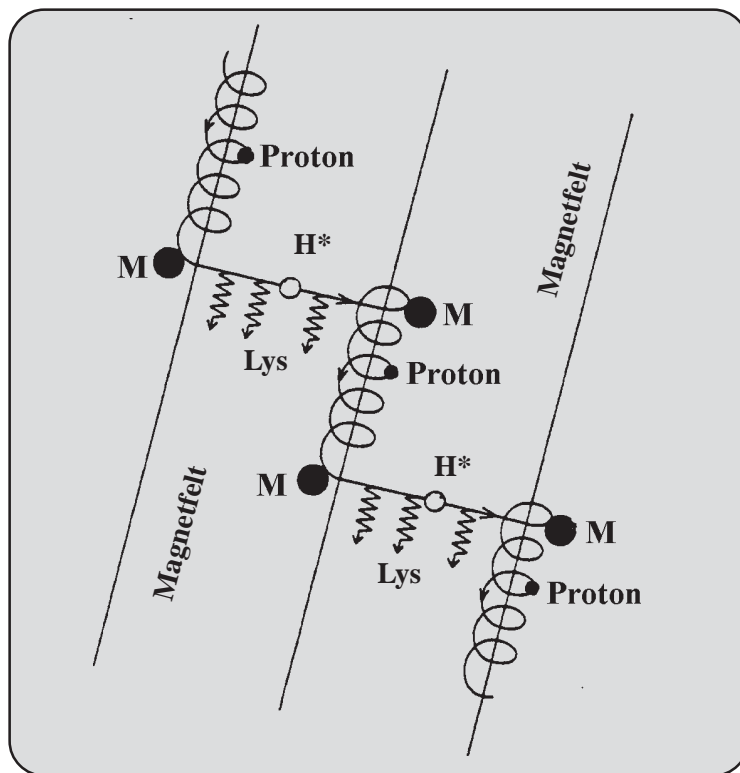


Du har sikkert hørt hvordan tonehøyden på en bilsirene øker når bilen kommer mot deg og synker når bilen fjerner seg igjen. Dette er kjent som *dopplereffekten* (etter den østerrikske fysikeren Johann Doppler). Både lys og lyd kan beskrives som bølger, og lysbølger oppfører seg på lignende måte som lydbølger når kilden til bølgene er i bevegelse: Frekvensen (og dermed bølgelengden) på lyset forskyves.

Bølgelengden på lyset fra H-atomene i atmosfæren er litt forskjøvet i forhold til bølgelengdene  $H_\alpha$  og  $H_\beta$  som vi vet kommer fra hydrogenatomer i ro. Ut fra forskyvningen i bølgelengde kan vi beregne hastigheten til H-atomene i atmosfæren når lyset sendes ut. På denne måten har man funnet ut at farten til protonene når de treffer jordas atmosfære ofte er mer enn 400 km pr. sekund.

## Temperaturen i atmosfæren

Nordlyset gir også informasjon om temperaturen høyt oppe i atmosfæren. Det henger sammen med at intensiteten av lys med ulike bølgelengder fra en gass varierer med temperaturen i gassen. Det var professor Vegard som først grep denne muligheten til å måle temperaturen i den øvre atmosfæren ved hjelp av nordlys. Før raketter og satellitter ble tatt i bruk, var det fra studier av nordlys vi fikk informasjon om temperaturen i store høyder. Middelfemperaturen mellom 100 og 200 km kan variere fra ca. 100 til 700°C under normale forhold.



Figur 14. Magnetfeltet er rettet mot magnetpolen på jorda. Et proton kommer inn langs magnetfeltlinjene i en spiralformet bane. Det treffer på et molekyl, M, og plukker opp et elektron. Det er da blitt et eksitert H-atom ( $H^*$ ). Det vil sende ut lys med bølgelengder som er karakteristiske for hydrogen. Fordi H-atomet er i bevegelse når det sender ut lyset, er bølgelengden litt forskjøvet.

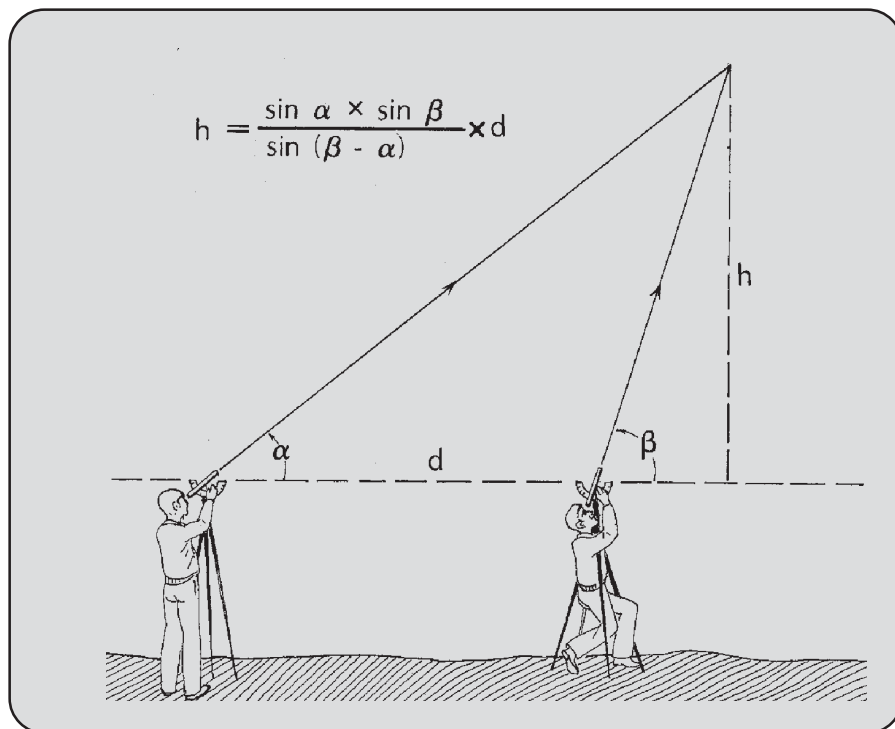
## Høyden av nordlyset



I begynnelsen av vårt århundre var høyden av nordlyset det store stridsspørsmålet for nordlysforskerne. Mange mente at nordlyset kunne nå helt ned til jordoverflaten, mens andre med like stor sikkerhet påsto at lyset oppsto høyt oppe i atmosfæren, ofte over 1000 km. Omkring 1908 konkluderte professor Carl Størmer med at det var nødvendig å bruke en objektiv observasjonsmetode for å bestemme nordlyshøyden. Han mente at den eneste metoden som kunne komme i betraktning var fotografering av nordlyset.

Carl Størmer tar bilder av nordlys i hagen på Bygdøy.





Figur 15. Figuren viser en såkalt parallaksemåling av nordlysets høyde. Metoden krevde at to observatører observerte samme nordlysformasjon samtidig og målte vinkelen mellom horisontalen og siktelinjen mot nordlysformasjonen. Når en kjente avstanden mellom observatørene,  $d$ , var det lett å beregne nordlysets høyde over bakken,  $h$ , etter formelen på figuren. På denne måten ble høyden for maksimal intensitet og for overkant og underkant av nordlyset bestemt. Avstanden mellom observatørene var fra 50 km til 200 km.

Sammen med sin assistent, fysikeren O.A. Krogness, prøvde Størmer mange forskjellige linser og fotografiske plater og fant til slutt en akseptabel løsning. I 1909 hadde de utviklet et kamera som var egnet til formålet deres, og verdens første brukbare nordlyskamera ble bygd. I perioden 1910-1940 ble mer enn 100 000 bilder tatt med denne typen nordlyskamera.

Serier av nordlysfotografier ble tatt samtidig fra to eller flere stasjoner (se skissen i figur 15). Ut fra fotografiene kunne høyden av nordlyset bestemmes når tidspunktet og avstanden mellom observatørene var kjent. Tidspunktet måtte man kjenne for å kunne fastlegge posisjonen til nordlyset mot bakgrunnen av kjente stjernebilder - da kunne vinklene  $\alpha$  og  $\beta$  bestemmes nøyaktig.

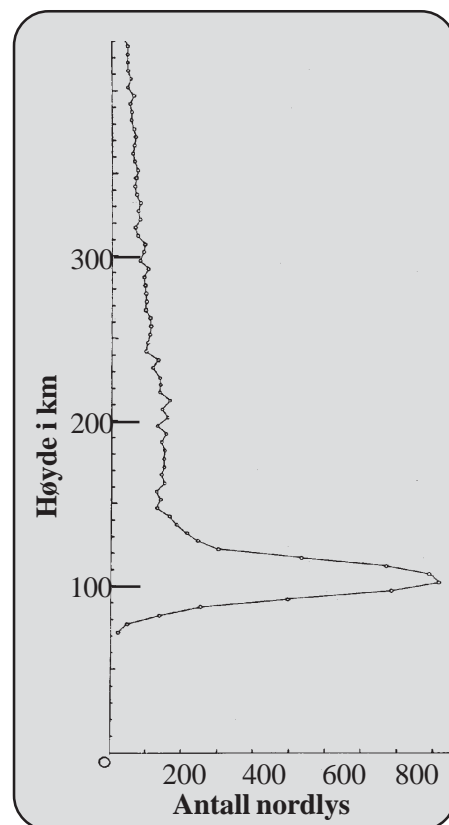
Hovedproblemet var å identifisere samme punkt i nordlyset - observert

samtidig fra de to stedene. For å mestre det hadde Størmer telefonforbindelse med sine observatører. Ved å identifisere kjente stjernebilder på fotografiene kunne han finne sikteretningene nøyaktig. Metoden gjorde det mulig å bestemme høydene til flere punkter i nordlysformen. Høydene for den maksimale intensiteten i selve lyset, og for underkanten og overkanten av formen ble regnet ut.

Nordlysets høyde er ulik for forskjellige nordlysformer, og høyden varierer også med tiden og med geografisk posisjon. Om en ville oppnå en fullstendig oversikt, var det nødvendig å utføre høydemålinger over tidsrom som dekket flere solflekkperioder. Høydefordelingen av omkring 20 000 nordlys observert på denne måten (se figur 16) viser at de aller fleste nordlysene har maksimal intensitet mellom 90 og 150 km.



Carl Størmer (1874 - 1957) var en glimrende matematiker som målte høyden på nordlyset. I tillegg beregnet han de ladde partiklenes gang i magnetfeltet, 20 - 30 år før andre forskere ble interessert i dette fagfeltet.



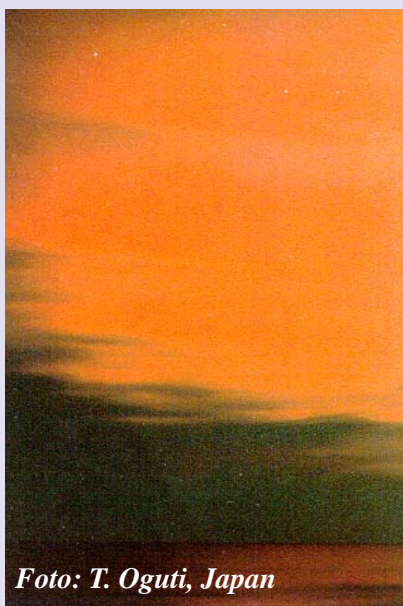
Figur 16. Resultatet av Størmers arbeid med å måle høyden av nordlyset. Kurven viser antall observerte nordlys som funksjon av den høyde de hadde. Vi ser at de fleste nordlys har maksimal intensitet i omkring 100 km høyde. Nesten ingen nordlys finnes under 85 km, mens en god del strekker seg opp til 200 - 300 km.



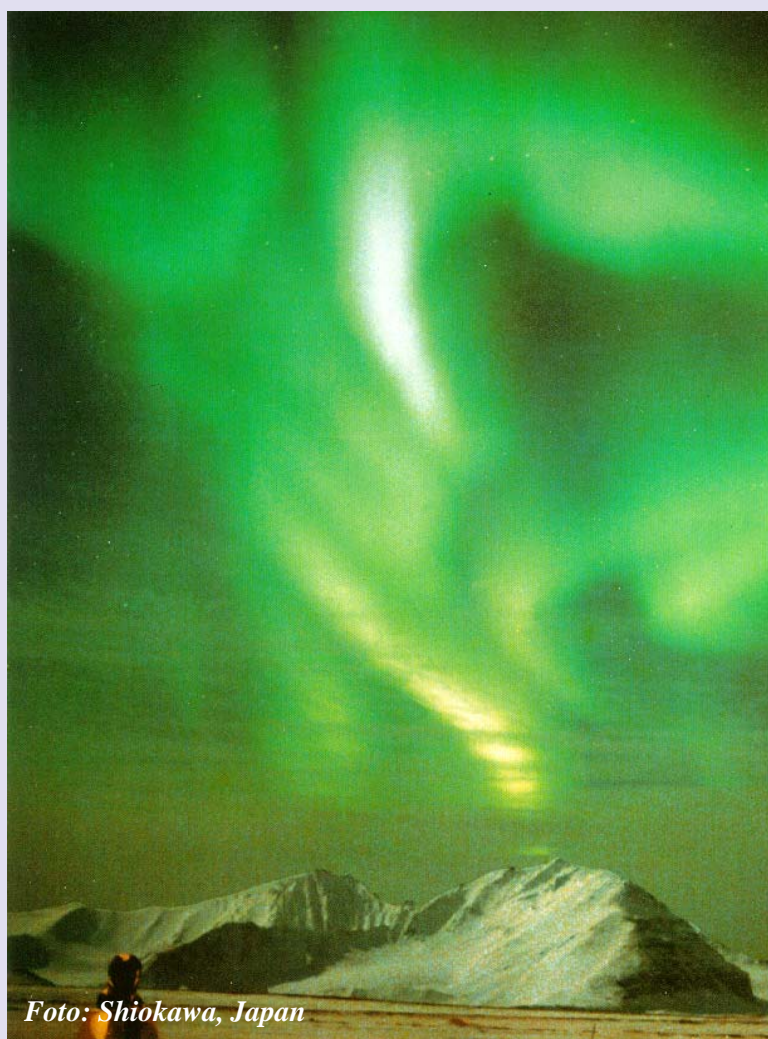


*Foto: Steinar Berger, Tromsø.*

*Nordlyset har mange former og farger. På disse sidene kan du se noen vakre og spennende nordlysbilder. Over er et bilde fra Tromsø tatt av Steinar Berger. Til høyre er et bilde fra Ny Ålesund på Svalbard. Bildet under er tatt i Japan i mars 1989, i en periode med stor solaktivitet. I slike perioder opptrer ofte helt røde nordlys, som dette, på lave breddegrader.*



*Foto: T. Oguti, Japan*



*Foto: Shiokawa, Japan*



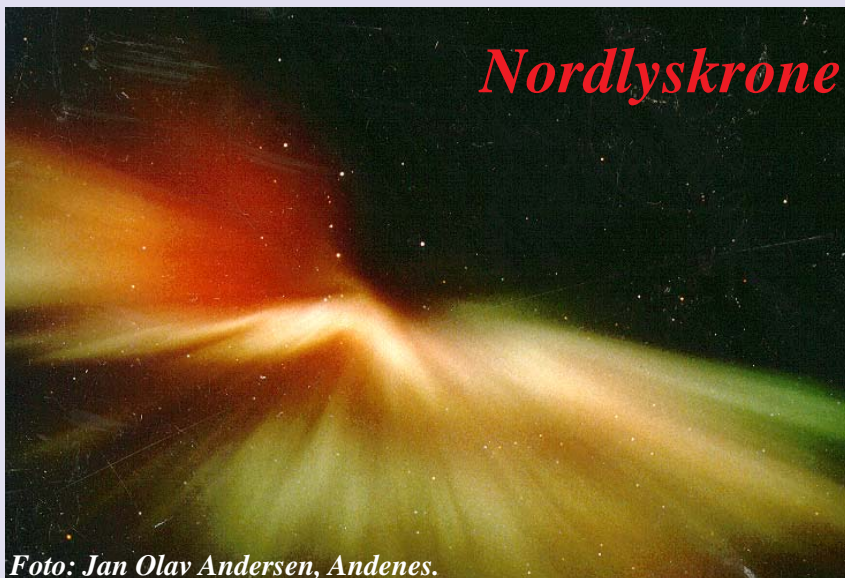


Foto: Jan Olav Andersen, Andenes.

Nordlysforskeren Sophus Tromholt beskrev nordlyskronen slik i 1885:

*Et skjønnere syn er det viselig ikke forundt det menneskelige øye at nyde, den der ikke har sett det, kan ikke gjøre seg noen forestilling om dette vidunderlige skuespill, som trodser enhver beskrivelse - majestetisk skjønnhet.*

Nordlys dannes når solvinden treffer atomer og molekyler høyt oppe i atmosfæren. Fargene er bestemt av atmosfærens atomer (se Bohrs atommodell). Det «hvite» lyset fra sola inneholder alle spektrets farger. Det ser du når lyset går gjennom et prisme. Nordlyset inneholder bare visse spesielle farger. På figuren under er de spesielle fargene vi finner i nordlyset (linjene) sammenlignet med sollyset, som er sammensatt av alle regnbuens farger («regnbuen» under). For hver av nordlysfargene har vi oppgitt hvilket atom eller molekyl i atmosfæren den stammer fra. Som du ser, kommer de aller fleste nordlysfargene fra nitrogen og oksygen. Det er også en svak linje fra hydrogen ( $H_\beta$ ).

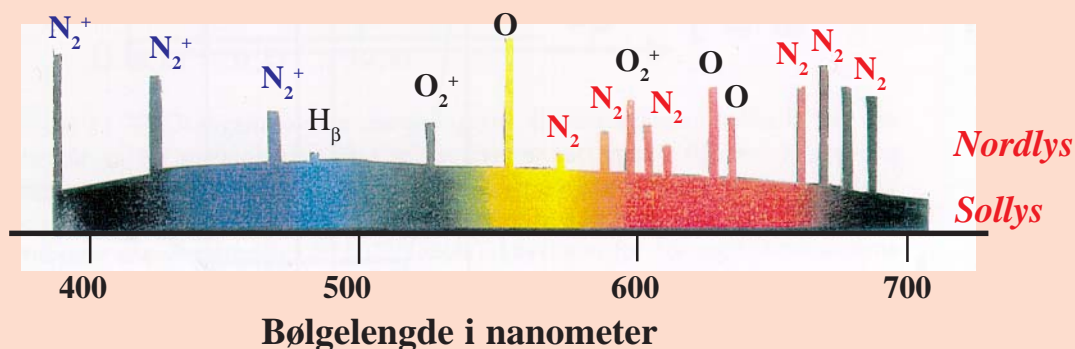


Foto: Steinar Berger



# Romforskning

Ved hjelp av satellitter og romlaboratorier har vi fått en rekke nye muligheter til å studere både sola, jorda og verdensrommet. Sola sender ut både røntgenstråling og energirik UV-stråling, som **ikke** når ned til bakken, men som vil nå frem til et romlaboratorium. SOHO er utstyrt med en rekke instrumenter som kan registrere UV-stråling og solvindpartikler.

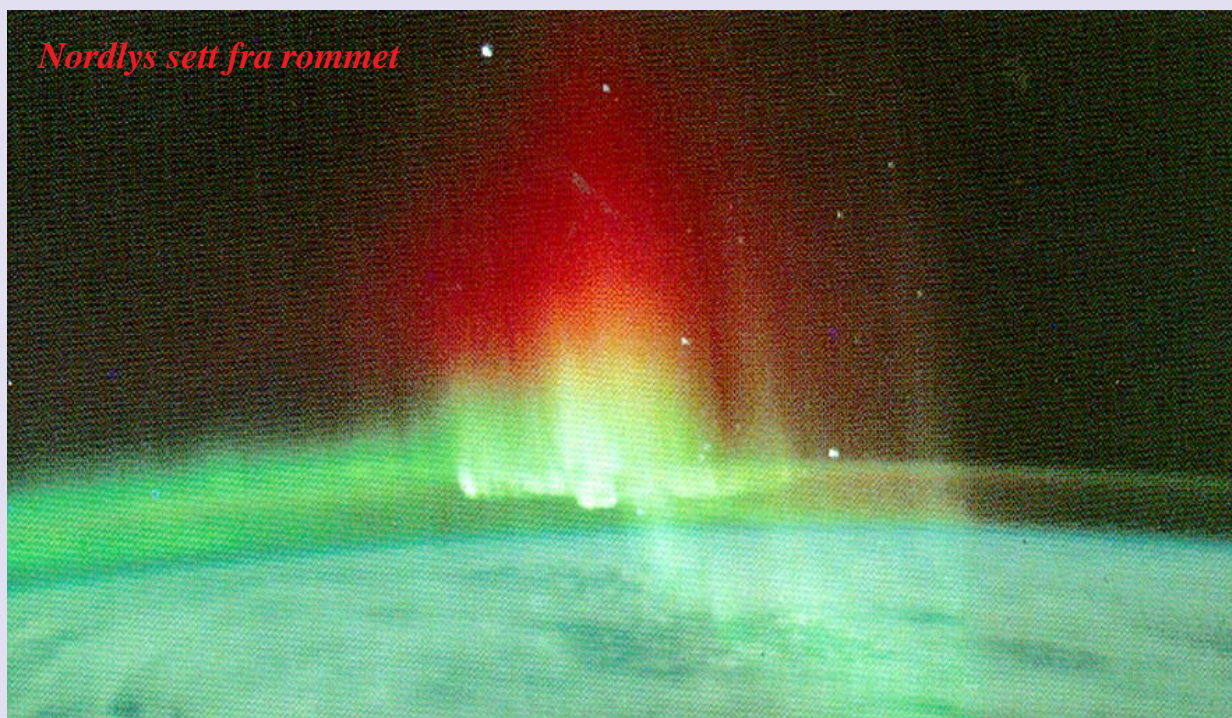
Tegningen til høyre viser to romforskningsprosjekter som det stilles store forventninger til.

**SOHO** ble sendt opp 2. desember 1995 og kom i bane mellom jorda og sola 14. februar 1996. I løpet av et år kretser den rundt sola sammen med jorda. Den tar hver dag tusener av UV-bilder av sola, og den har instrumenter for å studere solvinden. Det blir spennende å se resultatene av disse målingene i neste solflekkperiode.

**Cluster**-prosjektet består av fire satellitter som skal gå i bane rundt jorda og studere magnetosfæren. Det første forsøket på å sende ut Cluster-satellittene endte dramatisk med at raketten falt ned, men ny utskytning er planlagt til år 2000.



**Nordlys sett fra rommet**



Her kan du se nordlys fra verdensrommet. Bildet er tatt fra romfergen «Discovery». Du kan se jordas krumning. Legg merke til at nordlyset er grønt nederst og rødt øverst. Foto: NASA





*Foto: Alv Egeland*



*Mange kunstnere har malt og tegnet nordlys. Her er et maleri av Harald Moltke (Danmark) fra omkring århundreskiftet.*



# Nordlysets intensitet og form

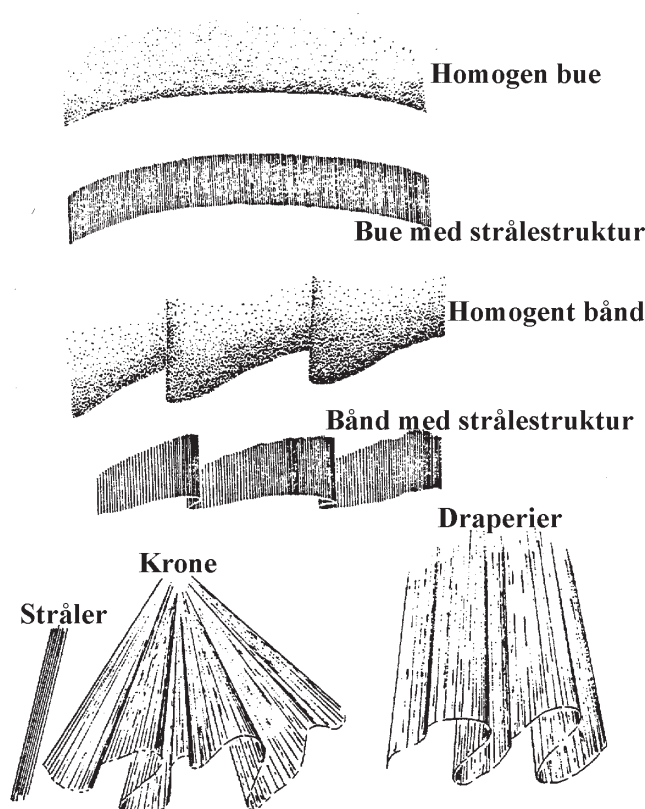
## Intensiteten

Sammenliknet med lyset fra sola og månen er nordlyset et relativt lyssvakt fenomen.

**Svakt nordlys** har tilnærmet samme lysstyrke som Melkeveien (Melkeveien, vår galakse, kan sees som et diffust, lysende belte over himmelen på stjerneklare netter).

**Middels sterkt nordlys** blander de fleste stjernene - dvs. vi kan ikke se stjernene på grunn av nordlyset.

**Sterkt nordlys** kan måle seg med månelys. Da er nordlyset ca. 1000 ganger sterkere enn alt stjernelyset og 100 - 1000 ganger sterkere enn det svakeste lyset en kan se.



Figur 17. Her er en skisse av noen av de vanlige nordlysformene.

## Nordlysformer og strukturer



For dem som bare har sett noen få store nordlysutbrudd, virker nordlyset ganske kaotisk - mangfoldigheten er nesten ubeskrivelig. Det er imidlertid mulig å kategorisere de ulike formene for nordlys, og de mest karakteristiske formene er vist i figur 17.

### Nordlyskrone

Dette er den mest imponerende nordlysformen. Du kan se skisse og bilde (nederst til høyre) av nordlyskronen på denne siden, men et langt mer imponerende bilde i farger finnes på side 20.

### Homogene buer og bånd

Nordlyset kan strekke seg i lange buer eller bånd (mer enn 1000 km) tvers over himmelen fra øst til vest. Den synlige vertikale utstrekningen er noen få titalls kilometer. Buene og båndene kan opptre enkeltvis eller i flere parallelle former.



### Nordlys med strålestruktur

Nordlyset kan være splittet opp i lange, tynne stråler langs jordas magnetiske feltlinjer. Lengden av strålene kan variere fra noen titalls til flere hundre kilometer. De kan opptre som enkle stråler, danne kroner og draperier, eller gå på tvers av buer og bånd. I det siste tilfellet får vi buer og bånd med strålestruktur (se figur 17).

### Diffuse flekker og flater

Andre typiske former er diffuse, skyliknende flater, vanligvis av grålig-grønn farge. Flatene dekker ofte flere hundre kvadratkilometer. Særlig om morgenen opptrer diffuse nordlysflater eller flekker som det kan være vanskelig å se med bare øyet fordi kontrasten til den stjerneklare himmelen er liten. Lysdottene kan minne om dampskyer fra et gammeldags lokomotiv.

### Spiralstrukturer

Ved kraftige nordlysutbrudd forekommer forskjellige spiralliknende former. Typiske dimensjoner kan være fra 20 til 1500 km. Strukturer som er mindre enn 10 km kalles «kurler» og er spunnet opp i motsatt retning av de større spiralene i forhold til jordmagnetfeltet.

### Aktive og rolige nordlysformer

Homogene buer og bånd, diffuse flekker og flater klassifiseres som rolige nordlysformer, mens stråler, kroner og draperier, buer og bånd med strålestruktur og spiraler er eksempler på aktive nordlysformer hvor intense og hurtige variasjoner er vanlig.

De aktive nordlysformene opptrer når aktiviteten på sola er høy, mens rolige, homogene former er typiske for perioder med lav solaktivitet.

## Nordlys - et skuespill i 4 akter

Nordlyset flammer opp på himmelen, det bukter og beveger seg, og forsvinner igjen. Utviklingen kan deles inn i fire faser, og hele «nordlysforestillingen» er som et skuespill i fire akter.

### Akt 1

1-2 timer tidlig på kvelden

*En eller flere svake, rolige, gulgrønne buer sees på nordhimmelen. Buene strekker seg over himmelen fra øst til vest. De ligger i ro eller driver langsomt mot ekvator.*

### Akt 2

Ca. 30 minutter

*Lyset øker, ofte med en svak rødlig tone under det grønne lyset. De homogene buene viser strålestruktur. Buene går over til bånd, og nordlyset beveger seg hurtig mot syd.*

### Akt 3

#### Ekspløsjonsfasen

Dramatiske forandringer foregår i løpet av ca. 10 minutter.

*Nordlysbuene mister sin regelmessige form, de folder seg ut som brede bånd eller draperier. De krøller og bukter seg, samtidig som meget hurtige bevegelser foregår, både mot nord og syd. Undertiden flammer himmelen opp, og nordlyset kan anta de mest fantastiske former. Ofte ser en intense nyanser av rødt i underkanten. Det dannes også kroner av lange stråleknipper.*



### Akt 4

Ca. 1 time

*De distinkte formene avtar langsomt i intensitet, blir roligere og sprer seg utover himmelen som et diffust, grålig-grønt slør.*

Det praktfulle nordlys-skuespillet er over. Ved høy solaktivitet kan vi ha flere utbrudd eller forestillinger i løpet av én natt.





# Variasjoner i nordlysforekomst

## Tidsvariasjon

De viktigste tidsvariasjonene i nordlyset er:

### Døgnlig variasjon

Både forekomsten og intensiteten av nordlyset er størst omkring eller et par timer før midnatt. Aktiviteten er betydelig mindre sent på morgenen enn tidlig på kvelden. I tillegg har ofte nordlysene på morgensiden en diffus karakter, mens vi om kvelden ser klart avgrensede nordlys.

### 27-dagers variasjon

Sola roterer med en periode på ca. 27 dager. Det avspeiler seg tydelig i forekomsten av nordlys: Nordlyset er sterkest når et aktivt område på solas overflate vender mot jorda. Sannsynligheten er derfor stor for å observere et nytt nordlys 27 og 54 dager etter et kraftig nordlysutbrudd.

### Årstidsvariasjon

Forekomsten av nordlys er størst om våren og høsten, mens den er mindre midtvinters. De beste månedene for nordlysobservasjoner er oktober og kanskje spesielt februar og mars.

## Variasjon med solflekker

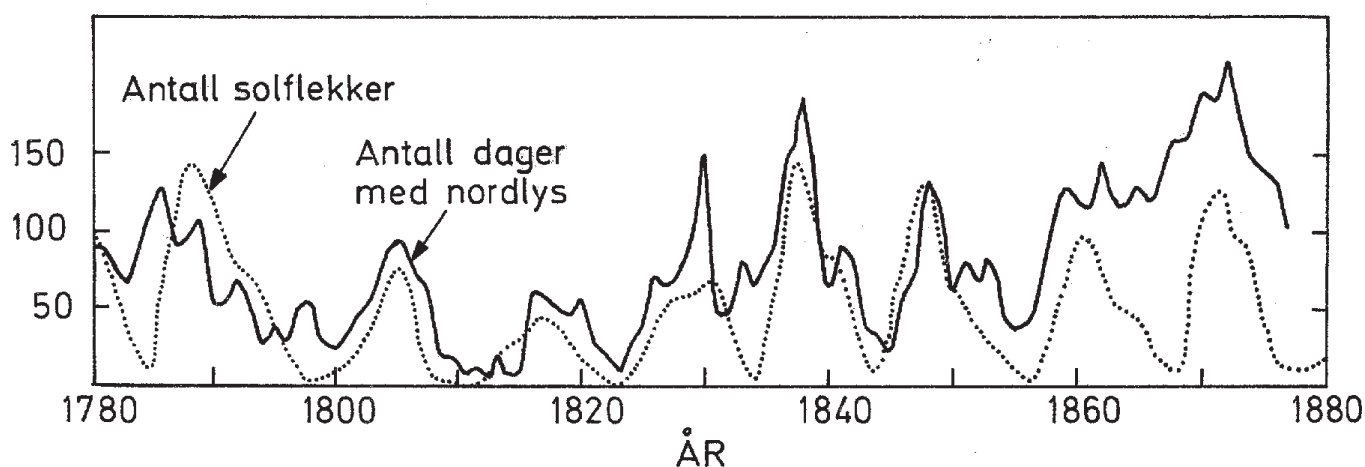
Alt i forrige århundre ble det påvist at forekomsten av nordlys varierer omtrent i takt med solflekkeperioden (se figur 18). Prof. Størmer fant maksimal nordlys-aktivitet ett til to år etter solflekke-maksimum.

I de senere år er observasjoner av nordlys fra hele verden blitt samlet og analysert med tanke på å finne periodiske variasjoner i forekomsten. En har da funnet en periode på ca. 22 år, som tilsvarer det dobbelte av solflekkeperioden. Det henger trolig sammen med at magnetfeltet i aktive områder på sola skifter retning mellom hver solflekksyklus.

Når det er mange solflekker, betyr det at det er mange «utbrudd» på sola og at den sender ut mye solvind. Når det kommer «skurer» av solvind inn i jordmagnetfeltet, blir det forstyrrelser i dette, og en kan observere kraftige nordlys. Jordas magnetfelt observeres kontinuerlig ved hjelp av «magnetometere» på ca. 250 målestasjoner rundt om i verden. Vi kan følgelig få den samme informasjon som er vist i figur 18 ved å se på sammenhengen mellom solflekker og forstyrrelser i jordfeltet (figur 19).

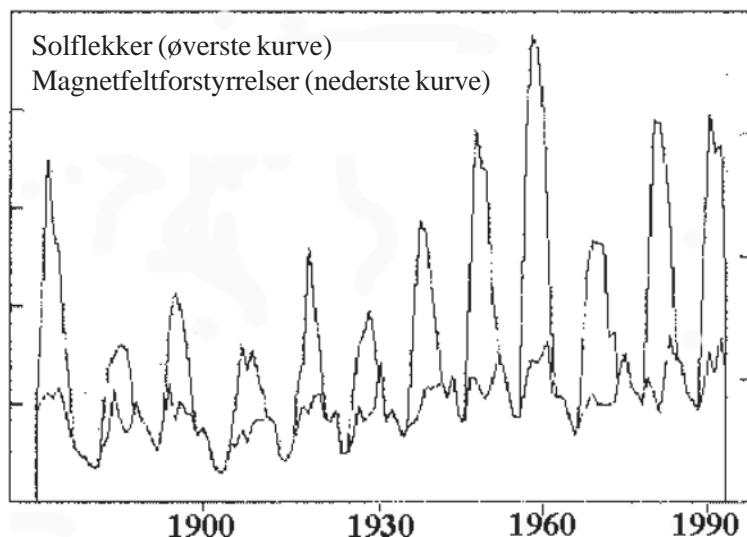


**Sophus Tromholt** (1851 - 1896) kom fra Nord-Tyskland (som den gang var en del av Danmark), og studerte nordlys i Norge i 15 år. Han ledet en ekspedisjon til Kautokeino i Det internasjonale polaråret 1882/1883. På museet i Kautokeino kan du se en del av de illustrasjoner og observasjoner Tromholt gjorde. Det er hans innsats som har gitt dataene til figur 18.



Figur 18. Figuren er utarbeidet på bakgrunn av Sophus Tromholts oppsamlede data over nordlysobservasjoner i Skandinavia. Den viser hvordan forekomsten av synlig nordlys varierte over 100 år (heltrukken kurve). Dette er sammenliknet med antall observerte solflekker i den samme perioden (prikket kurve).





Figur 19. Her ser vi sammenhengen mellom solflekker og forstyrrelser i jordmagnetfeltet.



Solflekkperiode nr. 23 har startet. Den vil antagelig nå sitt maksimum omkring tusenårskiftet (2000 til 2001). Disse årene vil det trolig bli mye nordlys.

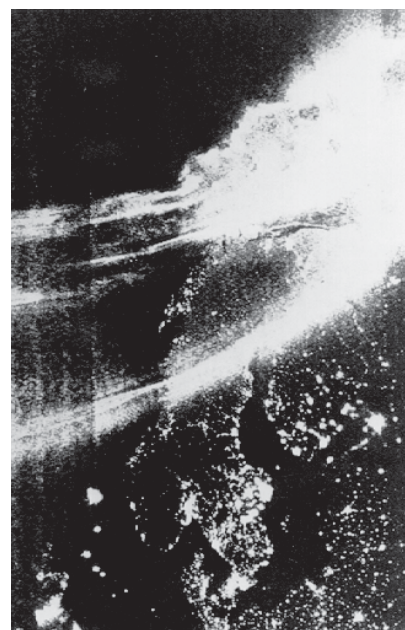
## Hvor ser vi nordlys ?

### Nordlyssonene

Nordlyssonene er de områdene på jorda hvor nordlys forekommer oftest og med størst intensitet om natten.

Bildene til høyre viser beliggenheten av nordlyssonen over Norge ved hhv. rolige (bildet til venstre) og forstyrrede (til høyre) forhold på sola. Fotografiene er tatt fra en satellitt, 800 km over bakken.

Nordlysforskere er svært interessert i hvordan nordlyset til enhver tid på døgnet fordeler seg rundt jorda. Ved hjelp av bakke- og satellittmålinger har vi funnet at nordlys opptrer mer eller mindre sammenhengende langs to ovale soner omkring jordas magnetiske poler.



Bilder av Nord-Europa tatt fra en satellitt, 800 km ute i verdensrommet. Det er natt, og du ser lys fra byer og tett befolkede områder. Du kan tydelig se hvordan nordlysovalen går over Norge. Når nordlyset blir kraftig, som til høyre, flyttes ovalen lengre syd.

Nordlysovalene ligger som lyssende glorier rundt jordas magnetiske poler. Ovalene er dobbelt så brede og nesten dobbelt så langt fra polene ved midnatt som kl. 12 om dagen.

Nordlysovalene ligger på en fast posisjon i rommet i forhold til sola. Når jorda dreier, forandres nordlysets beliggenhet i forhold til jordoverflaten. Om natten går nordlysovalen langs kysten av Troms og Finnmark.

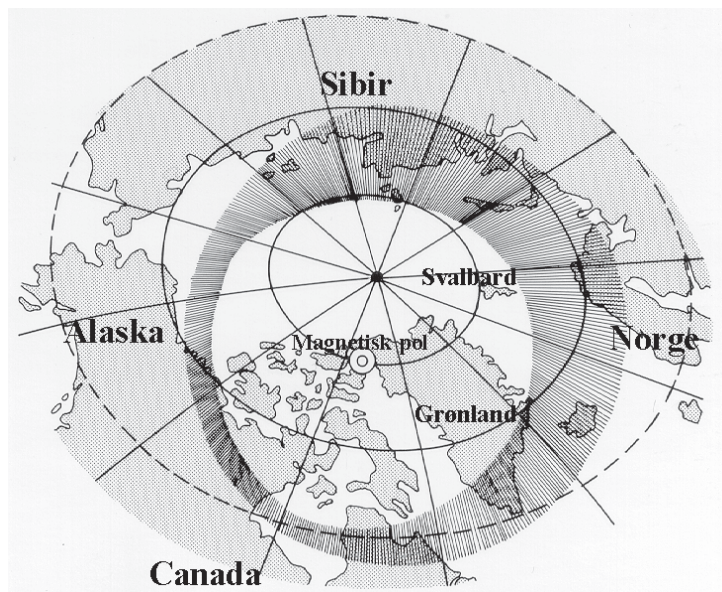
Om dagen ligger den over Svalbard. Fra Bjørnøya, omtrent midt mellom Tromsø og Svalbard, kan vi se nordlys i senit (ved det høyeste punktet på himmelen) både om morgenen (02-06) og om kvelden (14-18).



## Dag i Norge



## Natt i Norge



Figur 20. Kartene viser «nordlysovalen». Til venstre er ovalen når det er dag i Norge; til høyre når det er natt. Vi ser at på dagsiden er nordlysovalen smalere og trukket lengre mot nord enn på nattsiden. For å se nordlys må det være mørkt, for lyset er svakt. Skal en kunne se dagnordlys, må det derfor være mørketid. Hvis du studerer disse kartene, vil du se at Svalbard har en unik beliggenhet for å kunne studere dagnordlys. Det foregår da også betydelig forskning omkring dagnordlys på Svalbard.

## Hvordan dannes ovalen?

Sammenstøtet mellom solvinden og jordmagnetfeltet fører til at feltet er sammenpresset på solsiden og trukket ut i en lang hale på nattsiden (fig 12). Det er dette asymmetriske magnetfeltet som fører til at nordlysbeltene ligger forskjøvet i forhold til både de magnetiske og de geografiske polene.

Når solaktiviteten øker, øker intensiteten av nordlyset, og ovalene blir bredere. Nattsiden av ovalen utvider seg både mot polen og mot ekvator. Ved høy solaktivitet kan nordlyset dekke opptil 1/3 av jordas overflate.

I forbindelse med de aller største «magnetiske stormene» på sola, som i gjennomsnitt forekommer 2 - 10 ganger pr år, kan sentrum av nordlyset ligge mer enn 30° fra polen. Når vi kan se nordlys i senit over Oslo, kan vi være sikre på at det er «uvær» på sola og intense magnetiske forstyrrelser i jordas magnetfelt.

Nordlyset på den nordlige og sydlyset på den sydlige halvkule opptrer mer

eller mindre samtidig, og de samme formene kan observeres samtidig som speilbilder av hverandre i sør og nord (se s. 3). Det henger sammen med symmetrien i jordas magnetfelt, som fungerer som en veiviser for nordlyspartiklene og tvinger dem til å produsere lys i ringer rundt polområdene.

## Polarnordlys

Nordlys opptrer også i de sentrale polområdene, nærmere magnetpolene enn ovalene. Lyset er svakere der enn i ovalene, og fargesammensetningen er annerledes. Utbrudd av dette *polar-nordlyset* har kort varighet. Ellers vet vi lite om hvordan det beveger seg. Hovedgrunnene er den vanskelige tilgjengeligheten og mangelen på permanente nordlysoversvatorier i de sentrale polområdene.

To ulike typer nordlys synes å dominere over den sentrale polkalotten: diffuse flekker og buer. De siste er orientert i retningen fra middag til midnatt på tvers av polkalotten. Nordlysbuene opptrer ved lav solaktivitet,

mens flekker er mest vanlig ved forstyrrede forhold på sola.

Fra satellitter har vi bilder som viser nordlysovalen hvor nordlysbuer krysser de indre polområdene. Buene kalles  $\Theta$ -nordlys fordi bildene minner om den greske bokstaven theta ( $\Theta$ ).



En av Fridtjof Nansens nordlystegninger

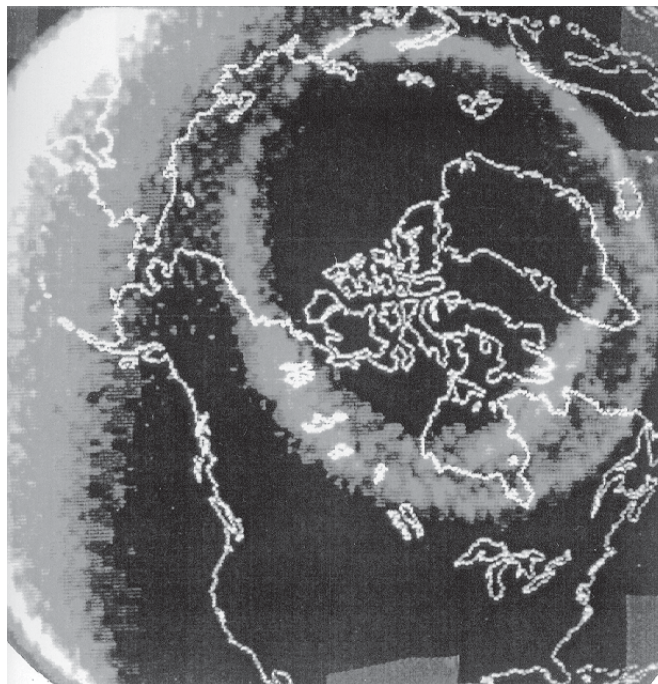


Orienteringen av buene over polkalotten følger med jordrotasjonen. Det betyr at vi fra retningen av nordlysbuen over de sentrale polområdene kan bestemme tiden ganske nøyaktig. Nordlysbuene i polområdene er derfor naturens egen klokke.

## Dagnordlys

Først i romalderen er det blitt helt klart at nordlys også forekommer om dagen. Skal vi se dagnordlys fra bakken, må det være mørkt (som i Nord-Norge om vinteren) og vi må være 10-15° fra magnetpolen. På den nordlige halvkule er Svalbard det suverent beste stedet for studier av dagnordlys. Systematiske undersøkelser av dagnordlys på Svalbard begynte først omkring 1980. I perioden 20. november til 20. januar er det på Svalbard mulig å se nordlys fra bakken 24 timer i døgnet.

Nordlysbeltet dekker en mye smalere sone om dagen enn om natten. Ofte har det en utstrekning i nord-syd retning på mindre enn 100 km. Middelhøyden av det røde dagnordlyset er 250 - 400 km, dvs. 2,5 ganger høyere enn hva som er typisk for nattnordlys.



*Dette er et bilde av jorda tatt fra DE.1-satellitten (DE står for «Dynamic Explorer») i en høyde av ca. 18 000 km. Bildet er tatt i UV-stråling. Det er betydelig UV-stråling i nordlyset, men det når ikke ned til bakken (det absorberes av atmosfæren). Derimot kan den UV-strålingen som går ut i verdensrommet fanges opp av en satellitt. Studier av «UV-nordlys» kan derfor gjøres selv når jorda er solbelyst. Her ser vi nordlysovalen når klokken er ca. 06 i Norge. Det er nordlys også på solsiden av jorda (til venstre).*

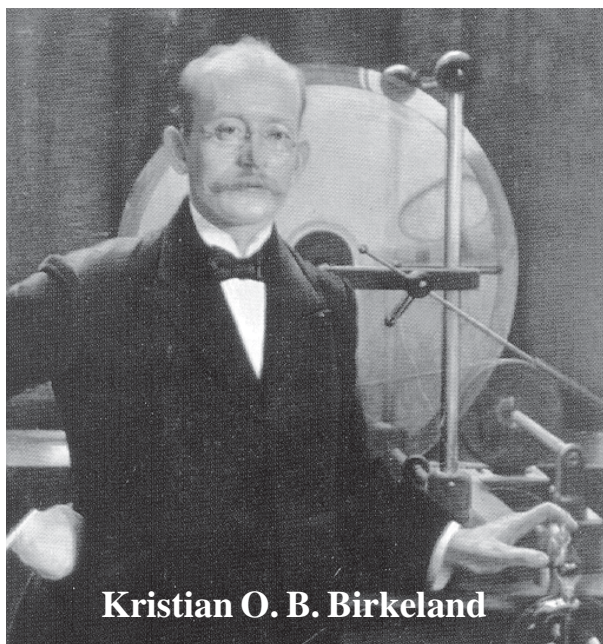
## Noen karakteristiske størrelser for dag- og nattnordlys

Dagnordlys			Nattnordlys	
	Intensitet (kR)*	Høyde (km)	Intensitet(kR)	Høyde (km)
Rødt nordlys (630 nm)	0,1 - 10	over 300	0,1 - 10	200
Grønt nordlys (557,7 nm)	0,05 - 1	under 200	1 - 100	120
Blått nordlys (427,8 nm)	0,01 - 0,1	langt under 150	0,5 - 50	100
Intensitetsforhold mellom rødt og grønt nordlys			Grønt er 10 ganger sterkere	
Middelenergi til elektronene i solvinden		ca. 100 eV	ca. 5000 eV	
Posisjon av nordlyset		ca. 77 ° magnetisk bredde	ca. 67 ° magnetisk bredde	

\* kR, kilo rayleigh, er en enhet for intensiteten av stråling.  
1 eV =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J.



# Nordlysforskningen - en norsk paradegren



Kristian O. B. Birkeland



Du har sett fra flere kart og figurer i dette heftet at Norge ligger sentralt i forhold til nordlysovalen. Hos oss er klimaet mildt i forhold til andre områder under ovalen, som f. eks. Sibir eller Alaska. Norge er derfor et vel-egnet sted å drive nordlysforskning. Idag er en god del av den eksperimentelle forskningen knyttet til Svalbard og Nord-Norge.

Vi har tidligere omtalt forskning som ble gjort av Tromholt, Størmer og Vegard. Det er imidlertid *Kristian Birkeland* som er det store navnet i norsk nordlysforskning. Birkeland ble født i 1867 og ble professor bare 31 år gammel. Han startet som matematiker, men gikk over til teoretisk fysikk for senere å konsentrere seg om eksperimentalfysikk.

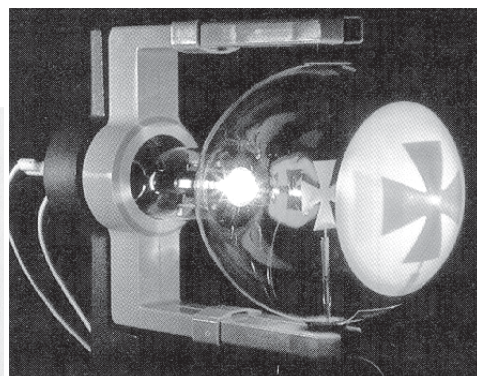
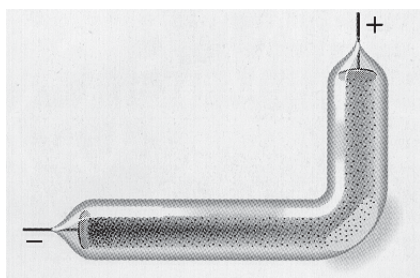
Birkeland organiserte 3 ekspedisjoner til polarområdene for å måle jordmagnetfeltet og finne ut hvordan forstyrrelser i dette feltet henger sammen med nordlys. Birkeland fikk opprettet nordlysobservatorier på Haldde- og Talviktoppene rundt Alta - og ikke minst greide han å lage kunstig nordlys i laboratoriet ved sine berømte Terrella-eksperimenter.

## Fysikk i 1890-årene

For å forstå og vurdere Birkelands innsats i nordlysforskningen må vi «skru tiden tilbake 100 år» og se hva fysikerne drev med dengang, og hvilken oppfatning de hadde av naturen.

Det som opptok mange fysikere i 1890-årene var studiet av «katodestråler». Det var slike studier Røntgen drev med da han ved en tilfældighet oppdaget røntgenstrålingen i 1895. Røntgen hadde et glassrør med svært fortynnet luft eller gass i. Han hadde

to elektroder i glassrøret, og det var en stor spenning mellom elektrodene. Fra katoden (den negative elektroden) går det en strøm av elektroner - men det visste ikke fysikerne, for elektronet var ikke oppdaget ennå! De kalte det katodestråler, og engelskmannen William Crookes bestemte noen av partiklens egenskaper. Han viste at partiklene fra katoden hadde en negativ ladning, fordi de lot seg bøye av i både elektriske og magnetiske felter.



Figur 21. Katodestrålerør. Til venstre er vist prinsippet: Et glassrør, 2 elektroder og nesten ingen gass i røret. Der partiklene fra katoden (den negative elektroden) treffer glassveggen blir det et blekt lys. Til høyre et mer moderne rør. Her er et metallkors inne i røret som hindrer en del av partiklene å nå fram. Vi ser silhuetten av korset på glassveggen.



I år 1900 bestemte engelskmannen J. J. Thomson forholdet mellom partiklenes ladning og masse. Han viste at partiklene i katodestrålene hadde svært liten masse, og slik fikk han æren for oppdagelsen av elektronet.

Det var små mengder gass i katodestrålerørene, og gassene lyste med forskjellige farger (omtrent som i dagens reklamelysrør). Forskerne på den tiden skjønnte ikke hvordan fargene opp-

sto - dette forklarte Bohr først i 1913.

Med dette spinkle tidsbilde av 1890-årenes fysikk skal vi se litt nærmere på Birkelands Terrella-eksperimenter.

## Birkelands Terrella - eksperiment

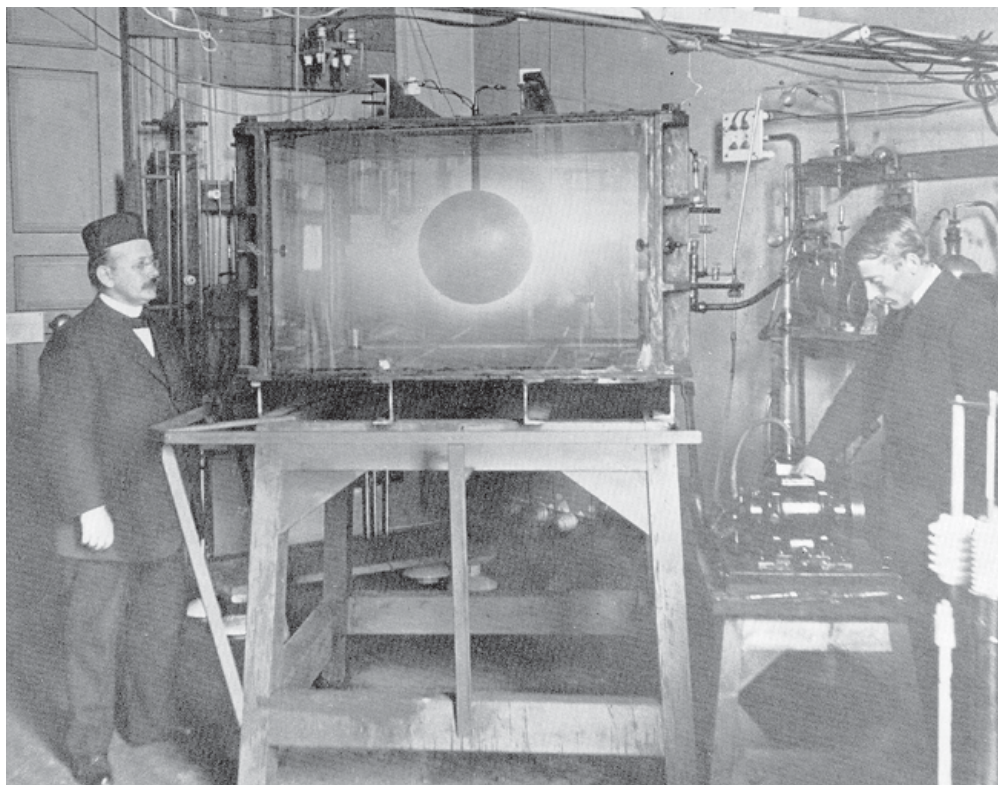
### Terrella = «liten jord»

Kristian Birkeland skjønnte at nordlyset hadde sammenheng med ladde partikler i jordas atmosfære, og han fikk bygget et «kunstig verdensrom» med en liten «jordklode» i midten (*Terrellaen*). «Verdensrommet» var en glasskasse der nesten all lufta var pumpet ut - omtrent som i katodestrålerørene. Inne i Terrellaen («jordkloden») var det en liten elektromagnet som skapte et magnetfelt omkring kula («jordmagnetfeltet»).

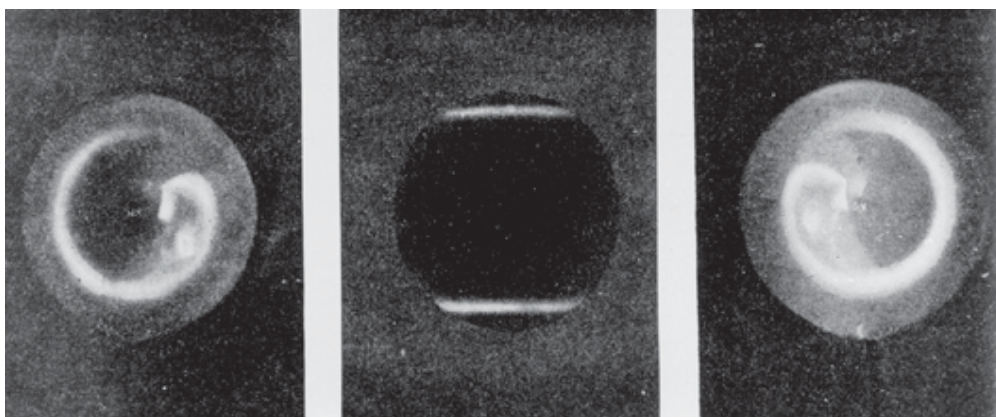
«Atmosfæren» var et lag med fluorescerende maling på kula (fluorescerende stoffer lyser når de blir truffet av stråling). «Solvinden» var katodestrålene som ble sendt mot Terrellaen i glasskassa. Det var negativt ladde partikler (elektroner) som ble akselerert gjennom et spenningsfall på opp til 15 000 volt.

Når Birkeland sendte katodestråler mot Terrellaen, oppsto lysende ringer rundt Terrellaens magnetiske poler - akkurat som nordlysovalene på jorda!

Til tross for alt det fysikerne ikke visste da eksperimentet ble gjort, var Terrella-eksperimentet svært vellykket. Det viste at nordlys stammer fra elektrisk ladde partikler som styres av jordas magnetfelt inn mot områder rundt de magnetiske polene.



*Et gammelt bilde som viser Birkeland og hans assistent Karl Devik sammen med Terrellaen. Glasskassen fungerer omtrent som et katodestrålerør. Kula inne i kassen er anoden. Den skal forestille jorda (Terrella betyr «liten jord»).*



*Her ser vi «kunstig nordlys» i Terrella-eksperimentet. De lysende ringene oppsto rundt magnetpolene på jordmodellen.*



## Oppsummering om nordlysforskning

Basert på Tromholts observasjoner av sammenhengen mellom nordlys og solflekker (figur 18) og Birkelands Terrella-eksperimenter var det omkring århundreskiftet mulig å forklare nordlys omtrent slik vi gjør i dag: Ladde partikler fra sola styres av jordas magnetfelt og «tenner atmosfærens gasser».

Det de ikke kunne forklare den gang, var hvordan disse gassene ble «tent» og hvordan de ulike fargene oppsto. En forklaring på dette var først mulig etter at Niels Bohr fremsatte sin atommodell i 1913. Høyden av nordlyset ble kartlagt av Størmer i 1920-årene.

## Dagens og morgendagens nordlysforskning

Nordlysforskning pågår stadig både i Norge og en rekke andre land, og denne forskningen gir oss ny viten både om sola, om jordatmosfæren og om det nære verdensrom.

### Andøya rakettskytefelt

Rakettskytefeltet på Andøya har lenge vært en hjørnestein i norsk nordlysforskning. Fra bakken kan en bare studere nordlyset nedenfra. Fra satellitt kan en studere det ovenfra, men ved hjelp av raketter kan en gjøre målinger *inne* i selve nordlyset.

Et rakettskytefelt for studier av nordlys må ligge høvelig plassert i forhold til nordlyssonen. Derfor falt valget på Oksebåsen, 6 km sørvest for Andenes på nordspissen av Andøya i Nordland fylke. Rammen rundt skytefeltet er storslått, med det brusende Norskehavet på den ene siden og steile, ville tinder på den andre.

Vi tok tidlig i bruk raketter for å studere den øvre atmosfære. Den første forskningsraketten ble skutt opp fra Oksebåsen den 18. august 1962. I dag er rakettskytefeltet et viktig senter for nordlysforskning, og mer enn 50 universitets- og forskningsgrupper fra Europa, Amerika og Japan deltar.

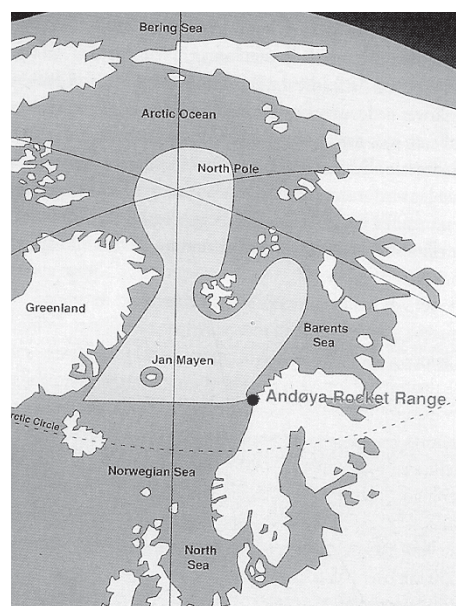
På et av fjellene bak rakettskytefeltet er det bygd et observatorium (ALOMAR) hvor en bruker laserlys til å studere den midlere atmosfære, inkludert ozonlaget.



*Rakettskytefeltet på Andøya vender ut mot Norskehavet. Rakettene skytes ut over havet.*

Rakettene som skytes opp er normalt mellom 10 og 20 meter lange. De har en instrumentlast på mellom 150 og 200 kg, og de når opp til en høyde på omkring 350 km. Høydereorden er ca. 1500 km. Det store nedslagsfeltet for rakettene i Norskehavet gjør at en kan velge skyteretning ganske fritt uten å risikere å treffe land. Det er også mulig å skyte opp flere raketter samtidig. De siste årene har en også begynt å berge instrumentlasten ved å la den falle ned i fallskjerm. Lasten blir da plukket opp med båt eller helikopter, og instrumentene kan brukes om igjen i en ny rakett.

En rekke ulike målinger kan gjøres fra rakettene inne i nordlyset.



*Nedslagsfeltet for rakettene fra Andøya dekker et stort havområde. Det strekker seg helt til nordpolen.*



Ved hjelp av optiske instrumenter kan vi kartlegge høydefordelingen av nordlyset og hvilke farger som oppstår i forskjellige høydeområder. Variasjoner i elektrisk og magnetisk felt registreres, og partikkeltellere måler nøyaktig

antall solvindpartikler som kommer inn i atmosfæren. Kunnskap om mengden av slike partikler har gjort oss i stand til å bestemme energimengden som går med til å produsere et synlig nordlys. Det viser seg

at atmosfæren må tilføres - i form av nordlyspartikler - en energimengde på ca. 10 000 watt pr. kvadratkilometer. For å produsere nordlys en kveld over Norge går det med mye mer elektrisk energi enn vi i vårt land bruker på et helt år!

## CLUSTER - en flåte av satellitter på forskningsferd rundt jorda

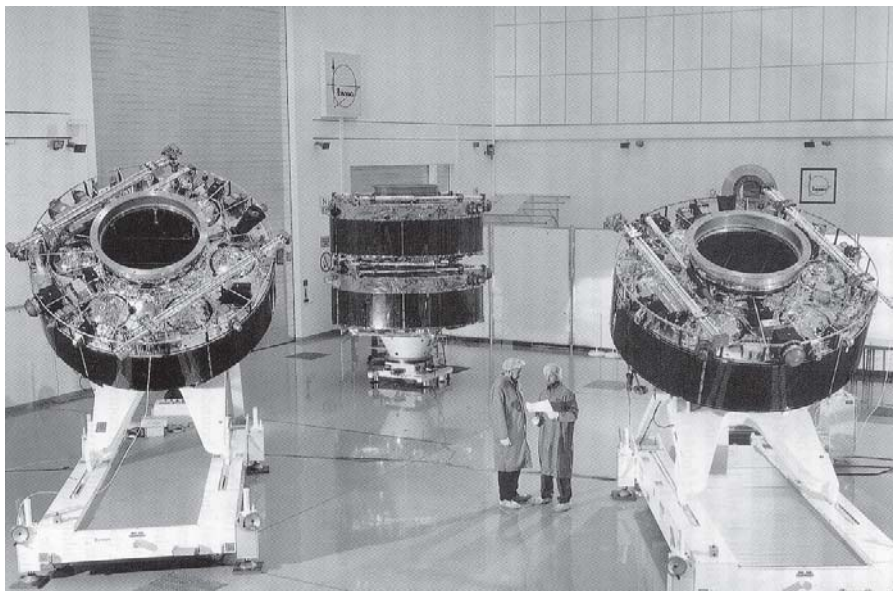
For å kartlegge den rolle solvinden spiller for jordas magnetfelt, har den europeiske romfartsorganisasjonen, ESA, planlagt å gjennomføre et satellittprosjekt som har fått navnet CLUSTER (cluster betyr gruppe eller hop på engelsk).

Det nye med Cluster er at fire like satellitter vil fly i formasjon rundt jorda. Banene vil være svært avlange (elliptiske), med en avstand til jorda som varierer fra 4 til 22 jordradier. Satellittene vil passere over jordas polområder. Avstanden mellom satellittene skal kunne varieres fra ca. hundre til noen tusen kilometer. I henhold til planen vil Cluster-satellittene bli skutt opp i år 2000.

Hovedhensikten med prosjektet er å kartlegge de romlige strukturene og bevegelsene av de fortynnede gassene som fyller det nære verdensrom (over 25 000 km fra jorda). Siden Cluster vil gi observasjoner fra fire punkter i rommet samtidig, kan magnetosfæren studeres mer nøyaktig enn det som er mulig fra enkeltsatellitter.

Grenseområdet mellom solvinden og det nære verdensrom på dagsiden av jorda er i nordlyssammenheng meget viktig. Dette området er ikke ugjenomtrengelig for partiklene i solvinden. Spesielt interessant er et område der magnetfeltet er meget svakt, på høye breddegrader i en avstand av ca. 15 jordradier. Dette området kalles *polarkløften* (se baksiden av heftet).

Svalbard har en helt unik beliggenhet i forhold til polarkløften. Partiklene som produserer dagnordlys kommer mot den polare atmosfære via denne



De fire CLUSTER-satellittene samlet før første oppskyting.

### Cluster og Ariane 5

Cluster skulle allerede vært i drift. Man forsøkte å skyte opp de fire satellittene med en rakett av typen Ariane 5 den 4. juni 1996. Dessverre var denne oppskytingen mislykket, og de kostbare satellittene gikk tapt.

Det var lenge uklart om man kom til å forsøke en ny oppskyting, men nå er det besluttet at Clusterprosjektet skal gjennomføres, og ny oppskyting er planlagt til år 2000. Denne gangen skal det brukes to russiske raketter til å bringe satellittene ut i bane rundt jorda.

På bildet til høyre kan du se hvordan de fire satellittene lå da en forsøkte å få dem ut i rommet med Ariane 5-raketten.





kløften. Derfor er studier av dagnordlyset et sentralt forskningsprosjekt for Cluster. Observasjoner fra de fire Cluster-satellittene innenfor polarkløften *samtidig*, vil sammen med bakkemålinger fra Svalbard gi betydelig informasjon om dagnordlyset.

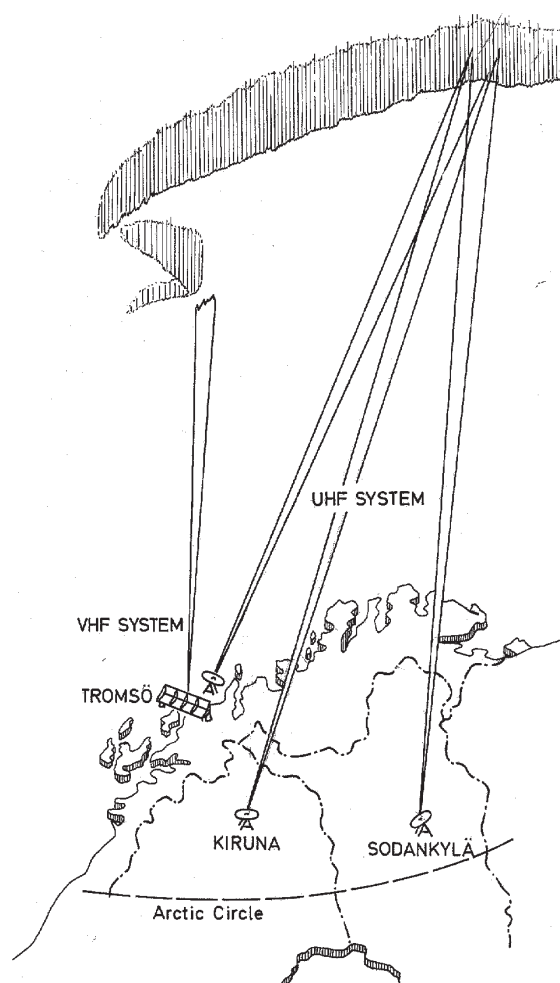
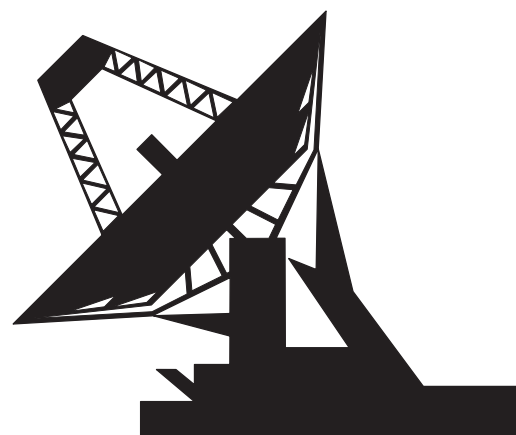
## EISCAT «lytter» til ekko fra nordlyset

Ved siden av rakettskytefeltet på Andøya er EISCAT-prosjektet blant de viktigste internasjonale nordlysforskningsprosjekter med base i Skandinavia. EISCAT står for «European Incoherent Scatter Scientific Association». Det tekniske hovedsetet for prosjektet ligger på Ramfjordmoen ved Tromsø, mens administrasjonen holder til i Kiruna i Sverige. Seks europeiske land var med fra starten, og i mai 1996 ble Japan det 7. medlemmet i EISCAT.

I EISCAT-prosjektet studerer man en rekke egenskaper ved de høye atmosfærelagene ved hjelp av radar. To kraftige sendere ved Tromsø sender radiobølger (frekvensen er hhv. 933 MHz og 224 MHz) mot området der nordlyset oppstår. Strålingen reflekteres fra nordlyset, og mottagere på bakken kan oppfange «ekkoet» av bølgene som ble sendt ut. Egenskaper ved «ekkoet» som mottas kan gi informasjon om de elektriske forholdene rundt nordlysbuer, om tettheten av ladde partikler i atmosfæren, og om temperaturen i de høye atmosfærelagene. EISCAT har mottagere både ved Tromsø, Kiruna i Sverige og Sodankylä i Finland.

Resultater fra EISCAT-anlegget i Tromsø har gjort det klart at nøkelen til en bedre forståelse av prosessene forbundet med nordlys ligger i atmosfæren over Svalbards breddegrader. Det er derfor bygget en ny radar i Longyearbyen på Svalbard. De første vellykkede observasjonene med denne ble gjort 16. mars 1996, og vi kan vente oss flere spennende resultater i fremtiden.

*EISCAT-anlegget i Nord-Skandinavia omfatter to sendere utenfor Tromsø og 3 mottagere (i Tromsø, Kiruna og Sodankylä). I 1996 ble EISCAT utvidet med et anlegg på Svalbard (ikke vist på figuren).*



## Kunstig nordlys

Det er faktisk mulig å produsere nordlys i atmosfæren «på bestilling» - men det koster mye. I tillegg vil slikt kunstig nordlys være svakt, dekke et lite område og bare vare noen få minutter. Det første kunstige nordlys i atmosfæren ble produsert over USA i 1958. Kilden var en atombombe som ble sendt opp med en rakett og sprengt høyt oppe i atmosfæren. Bomben produserte ladde partikler med stor fart, noe i likhet med partiklene i solvinden, og ga opphav til et kortvarig «nordlys».

I 1985 produserte vi kunstig nordlys i atmosfæren over rakettskytefeltet på Andøya. Nordlyset var så svakt at det ikke var synlig med det blotte øye, men det ble kartlagt med følsomme instrumenter. Kilden til dette nordlyset var en «elektronkanon» som var montert i en stor rakett. «Kanonen» akselererte elektroner i et felt på 10 000 volt og sendte dem så ut i atmosfæren. Det ble produsert en liten, svak «nordlyssky».



# Nordlyset i historien

## De eldste nordlysbeskrivelser

I den vesteuropeiske kulturen er det den greske filosofen Aristoteles (384-322 f.Kr.) som tillegges æren for de første seriøse nordlysbeskrivelser. Problemet med de aller fleste gamle beskrivelser er at de bruker et felles navn på alle typer himmellys som opptrer om natten. Derfor kan det være vanskelig å avgjøre hva som er nordlys og hva som er f.eks. kometer eller stjerneskudd.

Enda eldre omtaler av et naturfenomen som kan være nordlys har vi fra Kina og dessuten i Det gamle testamentet, hos profeten Ezeiel (ca. år 593 f.Kr.). I kapittel 1, vers 4 står det:

*Jeg hadde et syn. Se, et stormvær kom fra nord. Det var en stor sky med flammende ild. Det strålte og skinte omkring den, og inne i ilden blinket det som av skinnende metall. Midt i ilden viste det seg likesom fire skikkelser.*

(....)

*Ilden beveget seg fram og tilbake mellom skikkelsene. Det strålte av den, og det gikk lyn ut fra den. Skikkelsene fór fram og tilbake og var som lyn å se til.*

Den første realistiske beskrivelse av nordlys finnes i den berømte norske krøniken **Kongespeilet** fra ca. år 1230. Forfatteren har til og med nevnt tre teorier for hvorfor vi ser nordlys.

I perioden 1550 - 1800 var det særlig prestene i Norge som skrev om nordlys (prestene var blant de få i samfunnet som kunne skrive). Den første avhandlingen som helt var viet nordlys-fenomenet ble skrevet av biskopen i Kristiansand, Jens Spideberg, i 1724.

## Navnet

Det internasjonale navnet på nordlys er *aurora*. Det ble første gang brukt for ca. 400 år siden. For å skille mel-



*Aurora var den romerske gudinnen for morgenrøden. På bildet over ser vi hvordan gudinnen tømmer morgenrøden, lyset fra natt til dag, ut av sine to vaser.*

lom himmellyset på den nordlige og den sydlige halvkule, blir de kalt henholdsvis *aurora borealis* og *aurora australis*. Den korrekte oversettelsen av *aurora borealis* er «den nordlige morgenrøden». Selv om denne betegnelsen på nordlyset er misvisende - morgenrøden er jo ikke det samme som nordlys - er det *aurora*-navnet som fortsatt brukes i all internasjonal forskningslitteratur.

Det var de norske vikingene som først brukte navnet *nordurljos*. Det er et godt navn. Lyset er detaljert omtalt i *Kongespeilet*. Mange trodde at nordlyset var et godt værmerke. Derfor ble det mange steder kalt *værlys* eller *vindlys*. Noen steder langs kysten ble det kalt *sildelys*, fordi man mente at lyset ga bud om fiskestimer på vei mot land.

Fordi nordlyset varierte så hurtig i form og intensitet, ble det også forbundet med dans. Det ble kalt *Polka*, som er navnet på en kjent folkedans. Også i England ble nordlyset forbundet med dans og ble kalt *The Merry Dancer* (Den lystige danser). Det finnes flere nordlysnavn - spesielt hos naturfolkene som lever lengst mot nord, f.eks. samer og eskimoer.

## Praktisk nytte av Nordlyset

At nordlyset gjennom tidene har vært en viktig lyskilde har vi flere eksempler på. Den første beskrivelsen finnes i *Kongespeilet*, hvor det står:

*Men medan desse strålane er på det høgste og bjartaste, då står det så mykje lys av dei at folk som er ute, kan godt fare sine vegar, og likeeins gå på veiding om dei treng det.*

*Veiding = jakt*

Nordlyset kunne være til hjelp for fangstfolk og reisende. Fordi nordlys-buene er rettet tilnærmet øst-vest på himmelen, kan en også i grove trekk peile inn himmelretningen. Det er ikke usannsynlig at vikingene kunne stikke ut kursen over havet ved å studere nordlyset (se tegningen på neste side).



*Figur fra K. Leems «Beskrivelse over Finmarkens Lapper» fra 1767. Det fortelles hvordan lappene (samene) med kjøttbiter nedgravd i snøen lokker fram og skyter rever om natten ved nordlys som «der i landet i klar Luft teer seg saa overflødig, som Himmelen stod i Lue, og paa sin maade lyser hart som det prægtigste Maaneskin».*



# Inspirasjonskilde for kunstnere

Nordlyset har vært, og er fortsatt, en viktig kilde til inspirasjon for malere, forfattere, musikere og bildende kunstnere både i vårt eget land og internasjonalt.

Mange norske forfattere og diktere har i en eller annen sammenheng omtalt dette himmellyset. Blant dem er Jørgen Moe, Theodor Caspari, Arne Garborg og Knut Hamsun. Fridtjof Nansen skildret nordlyset både i ord og bilder. Kjente billedkunstnere som Peder Balke, Gerhard Munthe og Franz Widerberg har med sine penselstrøk gjengitt nordlysets karakteristiske trekk.

*Gerhard Munthes vignett i Snorres kongesagaer viser vikingskip som seiler under nordlysbuene.*



## Fridtjof Nansen

(1861 - 1930)

Polarhelten og forskeren Nansen kunne sikkert beundre mange fine nordlys på sine turer i Arktis. Han har laget en rekke velkjente tegninger, og han har beskrevet storslåtte nordlysutbrudd i boka *Fram over polhavet* (1897). Beskrivelsene hører til de vakreste i norsk litteratur. Her er et eksempel:

*Det var ikke i den lyseste stemning jeg i kveld kom opp på dekket; men jeg ble som naglet til flekken i samme øyeblikk jeg trådte ut i det*

*fri. Det er det overnaturlige for deg! Nordlyset i enestående kraft og skjønnhet, funklende over himmelen i alle regnbuens farver. Sjelden eller aldri har jeg sett sterkere farver i det. Først var det gule mest fremherskende; men så spilte det over i grønt og til slutt begynte en glimrende rubinrød farve å trenge igjennom ved strålenes bunn på undersiden av buene, og snart spilte den utover hele buen. (...)*

*Skjønt jeg var tynnkledd, og kulden sitret gjennom meg, var det umulig å rive seg løs før det hele var over, og bare en svakt glødende ildslange nær himmelbrynet i vest antydte hvor det hadde begynt.*

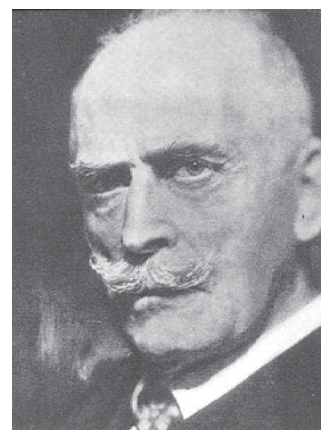


## Knut Hamsun

(1859 - 1952)

Hamsun vokste opp på Hamarøy i Nordland, og har nok sett mange vakre nordlys som senere inspirerte ham i hans diktning. Hamsun forbandt nordlyset med en himmelsk fest. Her er et utdrag fra diktet «Sne» (1904).

*Der flammer lys på himlen  
den høie nordlysnat.  
En bryllupsfest deroppe  
hvor stjærner går i driver  
og stjærner står i krat.  
Månen rinder;  
en gud blandt sine blinkende  
gudinner.*







## Arne Garborg

(1851 - 1924)

I diktet "Det Vaknar" i samlingen «Haugtussa» (1895) skriver Garborg om nordlys. Han skildrer en fest hos de underjordiske, hvor nordlyset benyttes som dekorasjon i festhallen:

*Vinterljuset vaknar i nord,  
tøyer dei grøne bogar,  
jagar med sus under kvelven stor  
fram sine frosne lógar,  
skimrer som sølv og perlemor  
over fjellom.*

*lógar = ildtunger*

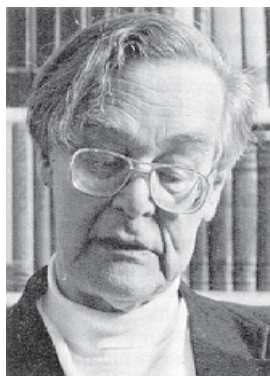


## Theodor Caspari

(1853-1943)

Theodor Casparis dikt "Nordlys" fra samlingen «Tidsbilleder» (1883) ble skrevet samme år som de to første nordlysstasjonene i Norge ble opprettet. Her er et utdrag:

*Gnistrende Bue,  
spillende Flamme,  
flimrende Krans  
om den taagede Pol.  
Issvanger Lue,  
billedløs Ramme,  
er du mig, Nordlys,  
et Livets Symbol.*



## Rolf Jacobsen

(1907 - 1994)

Rolf Jacobsen var en av de mest folkekjære norske lyrikerne i nyere tid. I diktet «A/S Vask og Tørk» fra samlingen «Pusteøvelser» (1975) skriver han om nordlyset.

*Om natten kommer nordlyset  
med hvite snorer  
og henger det opp til tørk  
i stjernevinden.  
Blåhvitt og rent, men tynt.  
Skjorter og lange serker,  
- nesten som englenes klær.*



Til venstre er en illustrasjon av **Karl Erik Harr** til en utgave av Petter Dass' bok «Nordlands Trompet». I virkeligheten levde Dass i en periode med liten solfleckaktivitet (Maunder minimum), og han så sannsynligvis ikke nordlys.

Når vi snakker med folk om nordlys i dag, forteller de ofte om hvordan de som barn trodde at bevegelsene av nordlyset økte når de viftet kraftig med hvite tørklær. I tresnittet til høyre har grafikerer **Ulf Dreyer** gjen-skapt noe av denne stemningen med nordlyset bølgende over fjellene.





# Nordlys i mytologi og folketro

Det er kanskje ikke rart at mange har blitt redde når de for første gang har sett nordlyset utfolde seg i all sin velde. I gammel tid så folk på nordlysutbruddene som et varsel om straff eller en påminnelse om lovløydighet. Andre trodde at nordlyset varslet krig eller pest. Tegninger fra den senere middelalder viser nordlyset fremstilt som krigshærer i full mundur, ildsprutende monstre eller fryktelige flammer og lysende spydspisser.

Nordlyset har satt dype spor i kulturen opp til vårt århundre. Hos mange naturfolk ble nordlyset betraktet som dødsrikets brannfakkell - når de døde i himmelen slo seg imellom, skaptes nordlyset. I andre tradisjoner ble nordlyset assosiert med jomfruer: På Vestlandet trodde man i gamle dager at eldre, ugifte kvinner ville komme til nordlyset etter døden, og man sa om disse kvinnene: *Ho er så gamal, ho kjem snart i verljuset*. I Finland sa man om nordlyset at *de gamle jomfruene lager varme*.

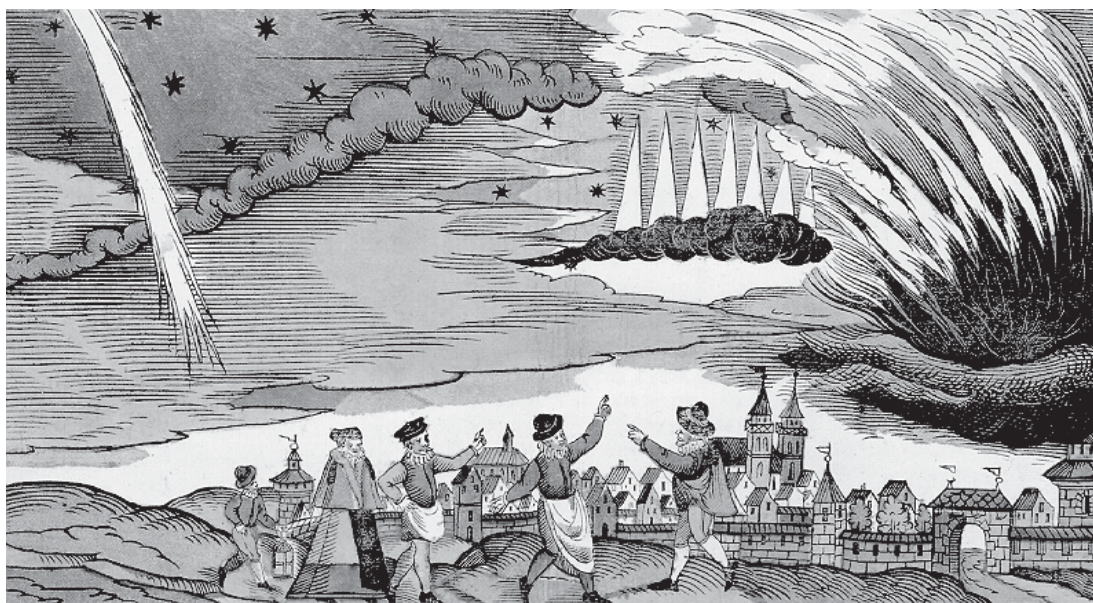


Fra året 1570 finner en i Böhmen denne beskrivelsen:

*«Et usedvanlig jærtegn ble sett mellom skyene på himmelen i Böhmen den 12. januar 1570. Det varte i fire timer. Først fremsto en svart sky som et stort fjell hvor flere stjerner viste seg. Over skyen var det en sterk lysstripe som brennende svovel og av form som et skip. Opp fra dette steg mange brennende fakler, nesten som voksllys, og mellom disse sto to store pilarer, en mot øst og en mot nord. Ilden rant nedover pilarene som dråper av blod, og byen ble opplyst som om den sto i brann. Vekterne ringte med alarmklokkene for å vekke folket slik at de skulle få se dette mirakuløse tegn fra Gud. Alle ble forferdet og sa at de aldri i manns minne hadde sett eller hørt tale om et slikt uhyggelig syn.»*

Beskrivelsen konkluderer på følgende måte:

*«Derfor, kjære kristne, ta dette grusomme tegnet til hjertet og be til Gud at han må gjøre straffen vår mindre.»*



*Nordlys over Nürnberg i Syd-Tyskland i 1591. Himmelen er fylt med underlig lys og flammer. De skarpe lysspissene illustrerer nordlys. Menneskene er tydelig oppskaket av dette synet.*



# Nordlyslyd - et mysterium

Det har vært en vanlig oppfatning hos naturfolkene til langt inn i vårt århundre at intense nordlys ofte gir fra seg lyd. Den vanlige beskrivelsen av nordlyslyd er:

*summing og knitring, som om noen krøller eller river over stivt papir, susing som fra en fjern foss eller en elv, eller lyden fra et seil eller flagg som slår i vinden.*

Videre fortelles det at lyden ofte varierer i takt med nordlyset. Det finnes mer enn 300 rapporter fra personer som har hørt lyd fra nordlys. Den samiske benevnelsen på nordlys, *guovsahas*, betyr *det hørbare lyset*.

Ingen har greid å måle denne lyden med instrumenter, til tross for at flere forsøk med følsomme mikrofoner er utført.

Kan vi forklare de påståtte nordlyslydene? Svaret er nok nei! Hørbar lyd - for et normalt øre - strekker seg fra

20 til 20 000 Hz (1 Hz er én svingning pr. sekund). Lydbølger med frekvens under 20 Hz kalles *infralyd*.

Hvis lyden skulle stamme fra selve nordlyset, ville den bruke mer enn 5 minutter på veien fra der nordlyset opptrer (100 km oppe) og til bakken, siden lydhastigheten i luft er ca. 330 m pr. sekund. Da er det vanskelig å tenke seg hvordan lyden kan variere i takt med nordlyset, siden lyset bruker mindre enn ett millisekund på å nå frem til oss.

Men det er en annen hindring som er enda vanskeligere å komme utenom: Lydbølger kan ikke utbre seg i vakuum. Det vet alle som har sett fysikkøvelsen der en har en ringeklokke i en beholder som en kan pumpe luften ut av. Når en pumper luften ut av beholderen, dør lyden bort, selv om vi tydelig ser at hammeren slår mot klokken. Lyden fra ringeklokken forsvinner før lufttettheten i beholderen er så lav som den vi har i 100 km høyde. Siden luften i nordlyshøyden er så tynn at lyd-



Kan du høre noe ?



bølger ikke kan utbre seg, er nordlyslyd et stort mysterium.

Kan noen oppfatte lyd uten at lydbølger når frem til øret? Eller er alle rapportene om lyd fra nordlyset feiltolkninger? Problemet med lyd fra nordlyset er komplisert.

Når nordlyset beveger seg raskere enn lyden, vil det oppstå store trykkvariasjoner. På liknende måte som for et overlydsfly vil det dannes en sjokkbølge som utbrer seg med lydhastigheten. På grunn av det lave lufttrykket i 100 km høyde vil lydbølger i det hørbare frekvensområdet hurtig dø ut, men infralyd med frekvens mindre enn 0.1 Hz vil kunne utbre seg til bakken. Spørsmålet er om noen mennesker kan oppfatte eller høre disse lavfrekvente lydbølgene?

## Nordlys og været

I Norge kan nordlyset sees fra bakken bare på klare vinternetter. Siden de klare vinternettene - spesielt i nord og langt inne i landet - ofte er kalde, trodde man før at det var en nær sammenheng mellom forekomsten av nordlys og klart, kaldt vær. Nordlys ble også tatt som varsel om værforandringer, og ble mange steder i Norge kalt *vindlys* eller *værlys*.

For mer enn 250 år siden skrev sjøkaptein Johan Heitmann en bok om *Solens varme, Luftens skarpe Kulde og Nordlyset*, dvs. om sammenhengen mellom nordlys og været.

I dag har vi ved hjelp av moderne romforskning undersøkt nordlyset i relasjon til været meget grundig, og konklusjonen er at nordlys og været er to uavhengige fenomener. Heitmann tok altså feil.

*Til høyre er vist forsiden av Heitmans bok fra 1741. Den imponerende tittelen er: «Johan Heitmans Physiske Betænkninger, over Solens Varme, Luftens skarpe Kuld og Nordlyset».*

JOHAN HEITMANS  
Physiske  
Betænkninger,

Over  
Solens Varme,  
Luftens skarpe Kuld

og  
Nord-Lyset,  
til Trykken befodret af Aucto-  
ris Søn,  
JOHAN HEITMAN.



ÅRDEN 1741,  
Trykt ved Hans Kongel. Maystis, og Univer-  
sitets Bogtrykkerie, af Johan Lorenz Hopffner,  
og indes sammeseds tilløb.



# Hva nordlysforskning kan fortelle oss

Nordlysforskning har gitt oss viktig informasjon både om sola og om jordas atmosfære og magnetfelt. Etter hvert som våre kunnskaper om den øvre atmosfære og det nære verdensrom øker og vi forstår reaksjonene og prosessene som foregår der, vil også vår generelle forståelse av naturen øke. La oss nevne noen sentrale punkter:



1.

Fra historiske undersøkelser av nordlysforekomsten i de siste 1000 årene har vi fått informasjon om hvordan solaktiviteten har variert med tiden. Ingen andre naturfenomener røper «været» på sola så direkte som nordlyset.

4.

Vi er nå inne i en periode hvor interessen for atmosfæriske forhold i de polare strøk er stor. Dette henger sammen med overvåkning av miljøet og klimaet på jorda. Nordlysforskningen kan gi oss bidrag til forståelsen av dette.

2.

Den øvre atmosfære er som et gigantisk lavtrykkslaboratorium. Her «utfører naturen eksperimenter» som det er praktisk umulig å gjøre i laboratorier på bakken. På denne måten har nordlysstudiene gitt oss informasjon om gasser og elektriske strømmer i atmosfæren.

## Nordlysforskningen er internasjonal

Målet for nordlysforskningen er å oppnå nye kunnskaper og en dypere forståelse av de fundamentale prosessene bak selve lysutsendelsen. Spesielt viktig er det å kartlegge energioverføringen fra sola til jorda og prosessene i den polare atmosfære.

3.

I forbindelse med nordlysforskning utvikles det stadig ny rakett- og romfartsteknologi. Dette har bidratt til å skape en rivende utvikling innen elektronikk, datateknikk og kommunikasjon som vi nyter godt av også i andre sammenhenger enn nordlysforskning.

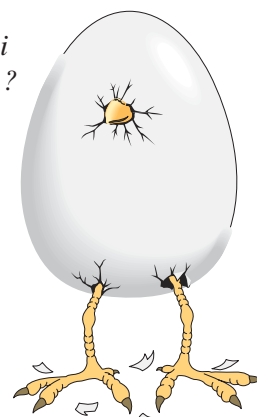
Fordi nordlysforskning kan gi kunnskap som er nyttig også i andre sammenhenger, er nordlysforskningen høyt prioritert, selv i land hvor nordlys praktisk talt aldri opptrer. Takket være verdensomspennende samarbeidsavtaler er store fremskritt oppnådd. Moderne teknikk har gitt nye, verdifulle hjelpemidler.

Nye instrumenter har gjort det mulig å studere prosessene i atmosfæren mens lysspillene utfolder seg over himmelen. Raketter er uovertrufne som bærere av observasjonsutstyr inn i selve nordlyset.

For å komme til kilden for nordlyset og kartlegge områdene hvor partiklene fra sola trenger inn mot jorda og starter nordlysprosessene, er romlaboratorier blitt tatt i bruk. Med spesiallagde instrumenter og kameraer kan vi nå «se» og studere nordlyset fra raketter og romlaboratorier til alle døgnetts tider. Selv om været er dårlig eller lyset er så svakt at det ikke kan fotograferes fra bakken, «ser» instrumenter ombord i satellitter nordlys hver gang de flyr rundt jorda.

Vi har nå satellitter som registrerer nordlysene ovenfra og som ikke forstyrres av vær og vind. Målingene utføres over de polare strøk og over de store havområdene hvor det ikke er praktisk mulig med bakkeobservasjoner. Med nært samarbeid mellom flere forskergrupper kan en oppnå samtidige observasjoner fra tre ulike hold. Fra bakken observeres nordlyset fra undersiden, mens oversiden kontrolleres fra satellittene, og raketene brukes for studier av nordlysets indre.

Hva vil vi oppdage ?





# Prøv deg som nordlysobservatør!

## Når og hvor kan en best se nordlys i Norge?

*Den himmelske danserinnen* nytes aller best hvis du er litt forberedt. Hvis du vet hvor og når det er best å se etter nordlys, har du større muligheter til hyppige og fine naturopplevelser.

Februar og mars er den beste tiden for nordlysobservasjoner, men nordlys opptrer ofte og med stor intensitet i hele perioden fra september til april.

Selv om synlig nordlys forekommer gjennomsnittlig 2 - 4 ganger pr. måned også i Syd-Norge, er Nord-Norge - spesielt Troms og Finnmark - det beste stedet. Her kan man se nordlys praktisk talt hver stjerneklar vinternatt. Aller best er det himmelske skuespillet i netter med liten eller ingen måne.

Vær oppmerksom på at det normalt går 10-15 minutter før øynene er tilpasset nattermørket. Observasjonene bør foregå fra et fjell eller en bakke-topp langt borte fra gatelys.

## Når på døgnet er forekomsten størst?

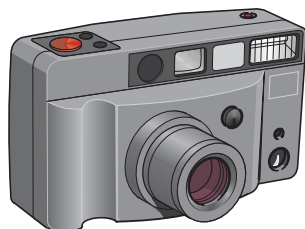
I de mørke timene litt før midnatt er nordlysaktiviteten størst. Nordlyset forekommer også etter midnatt, men da er det normalt mer diffust og dermed vanskeligere å få øye på.

## Hvor på himmelen opptrer nordlys?

En observatør i Sør-Norge vil normalt se nordlys nord på himmelen, ofte nede i horisonten. Selv fra «orkesterplass» i Nord-Norge vil lyset tidlig på kvelden først sees langt nord på himmelen, mens man mellom kl. 20 og 24 kan observere nordlys i senit (rett opp) eller endog sør for senit. For studier av nordlys er det en fordel at lyset opptrer nær senit.

## Når er muligheten for å se nordlys størst?

- Natten etter at et stort nordlys har vært observert
- Omtrent 27 eller 54 dager etter et stort nordlys (Dette skyldes at sola etter 27 og 54 dager vender samme aktive område mot jorda.)
- Netter hvor det er mye forstyrrelser på radio og TV



## Tips om fotografering

Det første en nordlysobservatør må gjøre, er å finne et mørkt sted med god utsikt og uten store forstyrrelser fra kunstig lys. Den som vil fotograferer nordlys bør være oppmerksom på at nordlys er et lyssvakt fenomen. I tillegg er det meget variabelt. Derfor bør fotografen ha:

- Stativ (eksponeringstider på 0,5 sekund eller mer er vanlig).
- Et rimelig godt fotoapparat.
- En hurtig film (400 ASA eller tilsvarende er å anbefale).

Både Kodak, Fuji og Konica film egner seg bra. Fotografen bør fokusere på sentrum i nordlyset og bruke full åpning på kameraet, og bør ikke ta bilder ved sterkt månelys. Ofte tar nordlysbilder seg best ut mot en bakgrunn av trær, fjell eller annet.

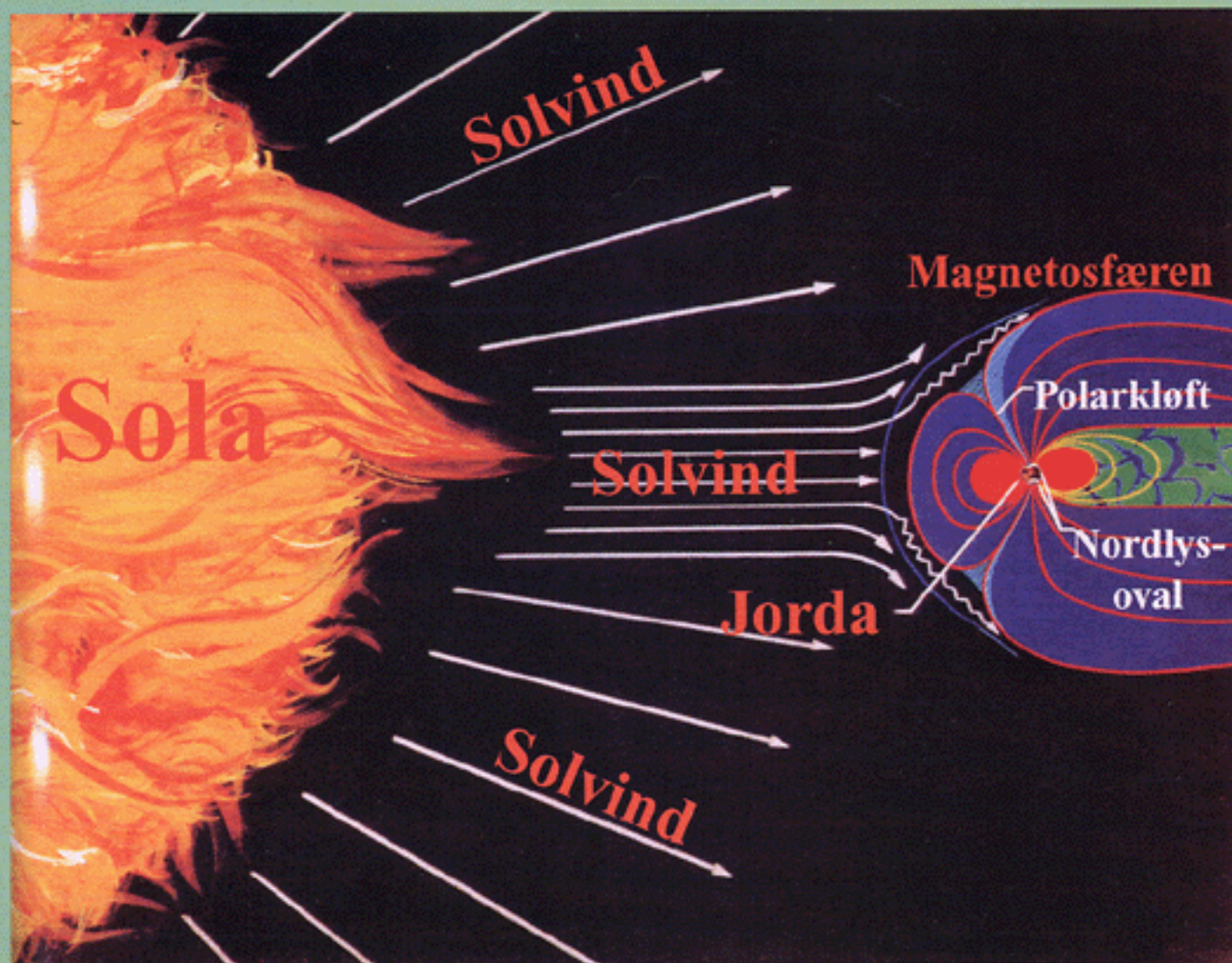
En *loggbok* er helt nødvendig. Skriv og lag skisser over hva du ser, og pass på å få med sikteretning og tidspunkt. På denne måten får du nytte av erfaringene dine ved senere observasjoner.

Det er ikke mulig å bedømme avstand og høyde til nordlyset fra ett observasjonssted. Vi har mange eksempler på at observatørene «så» at nordlyset nådde helt ned til jordoverflaten. Slik kan det lett se ut selv om nordlyset er 1000 km fra observatøren. Andre har følt at de kunne rekke hånden opp og ta på nordlyset.

Det kan være nyttig å vite at månens diameter er ca. 1/2 grad. Ved å sammenlikne med kjente stjernebilder, kan du få verdifull informasjon om hvor mange grader over horisonten nordlyset befinner seg. Et stjernekart er nyttig i så måte. Også nordlysformen i relasjon til himmelretningen (N,S,Ø,V) bør noteres i loggen.







*Når partiklene i solvinden kommer inn i jordas magnetfelt, styres de mot polområdene. Solvindpartiklene kolliderer med atomer og molekyler i atmosfæren, og nordlyset oppstår.*

**Dette heftet er utarbeidet ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, i forbindelse med «Vår strålende Verden», en utstilling om stråling og miljø på Norsk Teknisk Museum.**



ISBN 82-91853-00-2